

TUGAS AKHIR - TM141502

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN GAS HHO PADA PERTAMAX DAN E85 TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI GAS BUANG MOTOR HONDA ALL NEW MEGAPRO 150 CC

Bachrun Ass'syahr
NRP 02111545000044

Dosen Pembimbing
Dr.Ir.Atok Setiawan,M.Eng.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



TUGAS AKHIR - TM141502

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN
GAS HHO PADA PERTAMAX DAN E85 TERHADAP
UNJUK KERJA DAN EMISI GAS BUANG MOTOR
HONDA ALL NEW MEGAPRO 150 CC**

Bachrun Ass'syahr
NRP 02111545000044

Dosen Pembimbing
Dr.Ir.Atok Setiyawan,M.Eng.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



UNDERGRADUATE THESIS - TM 141502

**EXPERIMENTAL STUDY INFLUENCE OF ADDITION
OF HHO GAS ON PERTAMAX AND E85 TO
PERFORMANCE AND EMISSION OF GAS RULE
MOTOR HONDA ALL NEW MEGAPRO 150 CC**

Bachrun Ass'syahr
NRP 02111545000044

Advisor
Dr.Ir.Atok Setiyawan,M.Eng.Sc.

MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**STUDI EXPERIMENTAL PENGARUH
PENAMBAHAN GAS HHO PADA PERTAMAX DAN
E85 TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI GAS
BUANG MOTOR HONDA ALL NEW MEGAPRO 150
CC**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

BACHRUN ASS'SYAHAR

NRP. 02111545000044

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc

NIP. 196604021989031002

Bambang Arip Dwiyanoro, ST, M.Eng. PhD

NIP. 197804012002121001

Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT

NIP. 197301161997021001

Ary Bachtiyar K.P., ST, MT PhD.

NIP. 197105241997021001



(Pembimbing)

(Penguji I)

(Penguji II)

(Penguji III)

SURABAYA

JULI, 2018

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN GAS HHO PADA PERTAMAX DAN E85 TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI GAS BUANG MOTOR HONDA ALL NEW MEGAPRO 150 CC

Nama Mahasiswa : BACHRUN ASS'SYAHAR
NRP : 02111545000044
Jurusan : Teknik Mesin ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Ir.Atok Setiawan,M.Eng.Sc

Abstrak

Kebutuhan akan penggunaan minyak bumi sebagai bahan bakar utama semakin besar. Oleh karena itu dibutuhkan sumber energi alternatif yang efisien, ramah lingkungan dan tersedia dalam jumlah besar sebagai pengganti minyak bumi. Salah satu contohnya adalah air. Air dapat digunakan sebagai bahan bakar diperlukan proses elektrolisis. Melalui proses ini akan dihasilkan gas hidrogen-oksigen atau dikenal sebagai gas HHO. Penelitian ini bertujuan untuk dengan adanya penambahan gas HHO diharapkan mampu meningkatkan performa mesin dan mengurangi emisi gas buang pada kerja engine. Bahan bakar gas HHO akan dicampur dengan bahan bakar pertamax murni dan bahan bakar campuran ethanol 85 % dan pertamax 15 % atau E85.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pembakaran dan Sistem Energi ITS. Prosedur pengujian menggunakan generator HHO tipe dry cell menggunakan 10 buah plat yang terbuat dari bahan SS AISI 304 yang tahan karat dan memiliki resistansi yang tinggi, 11 O-ring, kemudian ditutup dengan akrilik. Bahan bakar yang digunakan adalah campuran pertamax 85% ,ethanol 15 % dan gas HHO konstan 0.15 L/ menit. Pengujian menggunakan sepeda motor All New Megapro 150 cc. Pengujian dilakukan menggunakan Waterbrake Dynamometer pada bukaan katup kupu-kupu penuh (Fully Open Throttle)

untuk memperoleh daya maksimum pada tiap putaran mesin, dan pengaturan putaran mesin yang diinginkan dilakukan dengan mengatur besarnya beban pada dynamometer. Pada setiap perubahan putaran mesin (2000 hingga 8000 rpm) dan dilakukan pencatatan data yang meliputi torsi, waktu konsumsi bahan bakar tiap 25ml, dan data hasil uji emisi dari gas analyzer. serta temperatur gas buang, engine, dan oli.

Dari penelitian ini didapatkan dengan bahan bakar gas HHO pada campuran E85 performa mesin naik dibandingkan dengan bakar bakar pertamax murni. Torsi maksimum pada bahan bakar gas HHO dan campuran E85 mengalami peningkatan sebesar 28 % dan Effisiensi thermal mengalami peningkatan sebesar 68 %. Penambahan bahan bakar gas HHO dengan campuran E85 juga menurunkan emisi gas buang CO sebesar 54.81 % dan emisi gas buang HC sebesar 44 %.

Kata kunci : HHO, Pertamax, E85, Emisi.

EXPERIMENTAL STUDY INFLUENCE OF ADDITION OF HHO GAS ON PERTAMAX AND E85 TO PERFORMANCE AND EMISSION OF GAS RULE MOTOR HONDA ALL NEW MEGAPRO 150 CC

Name : BACHRUN ASS'SYAHAR
NRP : 02111545000044
Major : Mechanical Engineering Department – ITS
Supervisor I : Dr.Ir.Atok Setiyawan,M.Eng.Sc

Abstract

The need for the use of petroleum as the main fuel is greater. Therefore, an alternative energy source that is efficient, environmentally friendly and available in large quantities as a substitute for petroleum. One example is water. Water can be used as fuel needed by electrolysis process. Through this process will be produced hydrogen-oxygen gas or known as HHO gas. This study aims to increase the performance of the engine and reduce exhaust emission on the engine work. HHO gas fuel will be mixed with pure pertamax fuel and fuel ethanol 85% and pertamax 15% or E85 mixture.

The research was conducted at the Laboratory of Combustion and Energy System of ITS. The test procedure used HHO type dry cell generator using 10 plates made of SS AISI 304 which are rust resistant and have high resistance, 11 O-ring, then covered with acrylic. The fuel used is a mixture of pertamax 85%, ethanol 15% and HHO gas constant 0.15 L / min. Testing using All New Megapro 150 cc motorcycle. The test is performed using a Waterbrake Dynamometer at the opening of the full butterfly valve (Fully Open Throttle) to obtain maximum power for each

engine spin, and the desired engine spin setting is done by adjusting the magnitude of the load on the dynamometer. At each change of engine speed (2000 to 8000 rpm) and data recording which includes torque, fuel consumption time per 25ml, and emission test data from gas analyzer. as well as exhaust gas, engine, and oil temperatures.

This study was obtained with HHO gas fuel in the E85 blend of engine performance up compared to pure fuel of pertamax. Maximum torque on HHO gas fuel and E85 mixture increased by 28% and thermal efficiency increased by 68%. The addition of HHO gas fuel to the E85 mix also lowered the CO emissions by 54.81% and the HC exhaust gas by 44%.

Keywords: *HHO gas, Pertamax, E85, Emissions*

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini tentu penulis sebagai makhluk sosial tidak dapat menyelesaikannya tanpa bantuan dari pihak lain. Tanpa mengurangi rasa hormat, penulis memberikan penghargaan serta ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW.
2. Ibu, Ayah, dan Kakak tercinta serta keluarga besar yang selalu mendukung lewat doa, materi dan moril.
3. Bapak Atok Setiyawan selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, memberi waktu, tenaga dan pikirannya.
4. Bapak Bambang Sudarmanta, Bapak Bambang Arip, Bapak Ary Bachtiar selaku penguji yang telah memberikan masukan sarannya.
5. Amirudin yang telah meminjamkan seperangkat peralatan generator HHO, memberi masukan dan saran.
6. Tim Tugas Akhir HHO (Budi Susilo dan Wira) yang banyak membantu dan mendukung penulis dari tahap persiapan hingga pengujian alat.
7. Sahabat sahabat (Bayu, Indra, Citra, Tita, Ian, Angga)
8. Teman - teman laporatorium Pembakaran dan Sistem Energi khususnya Hasfi yang banyak membantu melakukan pengujian.
9. Bapak Karmono yang telah membantu peminjaman peralatan laboratorium.

10. Teman – teman LJ Teknik Mesin 2015 yang saling membantu menyelesaikan masalah masalah lainnya.

11. Dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Penulis sangat berharap bahwa apa yang dihasilkan dari tugas akhir ini bisa memberikan manfaat bagi semua pihak, khususnya bagi diri penulis sendiri dan seluruh *civitas academica* Teknik Mesin ITS, serta bagi agama, bangsa, dan negara. Tidak ada manusia yang sempurna sekalipun penulis berusaha sebaik mungkin dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Karena itu, penulis memohon maaf apabila terdapat kesalahan, kekurangan, maupun kelalaian yang telah penulis lakukan. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis untuk dapat disampaikan untuk perbaikan selanjutnya.

Surabaya, Juli 2018

Bachrun Ass'syahr

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL INDONESIA	i
HALAMAN JUDUL INGGRIS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK IND.....	vii
ABSTRAK ENG	x
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
1.6 Sistematika Laporan.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Prinsip Dasar Motor 4 Langkah	9
2.1.1 Siklus Ideal Moor Bensin 4 Langkah	10
2.2 Internal Combution Engine	12
2.2.1 Pembakaran Stoikiometri Kebutuhan Udara.....	14
2.2.2 Pembakaran Non Stoikiometri.....	15

2.3	Bahan Bakar Gasoline	15
2.3.1	Karakteristik Bahan Bakar Gasoline.....	16
2.3.2	Bahan Bakar Pertamina	18
2.4	Ethanol	19
2.4.1	Fermentasi	20
2.5	Brown Gas (Hidrogen Hidrogen Oksida, HHO).....	21
2.5.1	Proses Elektrolisa Air Untuk Memproduksi Gas HHO	23
2.6	Parameter Performa Generator HHP tipe Drycell	24
2.6.1	Laju Produksi Gas HHO.....	24
2.7	Campuran Udara dan Bahan Bakar.....	25
2.7.1	Rasio Udara Bahan Bakar (Air Fuel Ratio)	25
2.7.2	Rasio Bahan Bakar Udara (Fuel Air Ratio)	26
2.7.3	Rasio Ekuivalen (Equivalent Ratio)	26
2.8.	Parameter Unjuk Kerja Bensin	27
2.8.1	Torsi	27
2.8.2	Daya	27
2.8.3	Tekanan Efektif Rata – Rata (BMEP)	28
2.8.4	Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (SFC)	29
2.8.5	Efisiensi Termal (η_{th}).....	30
2.9.	Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Minyak (BBM).....	31
2.9.1	Hidrokarbon (HC)	32
2.9.2	Karbon Monoksida (CO).....	33
2.10	Penelitian Terdahulu	34
2.10.1	Effect Of HHO Gas on Combustion Emissions in Gasoline Engines)	34

2.10.2 Aplikasi Gas HHO Pada Sepeda Motor 150 cc	36
2.10.3 Pengaruh Penambahan Pendingin <i>thermoelectric</i> pada Generator HHO Tipe Kering Terhadap Lama Waktu Pengoperasian	38
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	41
3.2 Peralatan yang Digunakan.....	43
3.3 Instalasi Pengujian dan Pemasukan Gas HHO pada Engine	45
3.4 Prosedur Pemasangan Alat Uji Gas HHO	46
3.4.1 Persiapan Pemasangan Alat Uji Gas HHO	46
3.4.2 Proses Kerja Penambahan Gas HHO pada Engine	47
3.5 Prosedur Pengujian Motor Bensin.....	48
3.5.1 Pengujian Emsisi Gas Buang	48
3.5.2 Pengujian Peforma Mesin	48
3.6 Rancangan Eksperiment.....	50
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Perhitungan Gas HHO	52
4.1.1 Daya yang Dibutuhkan Gas HHO	52
4.1.2 Laju Produksi Gas HHO	52
4.2 Perhitungan Unjuk Kerja Motor.....	52
4.2.1 Torsi	53
4.2.2 Daya	53
4.2.3 BMEP	55
4.2.4 SFC	56
4.2.5 Effisiensi	57
4.3Analisa Produksi Gas HHO	60
4.4 Analisa Unjuk Kerja Motor Bensin dengan Penambahan Gas HHO	60

4.4.1 Torsi Dan Daya terhadap RPM	60
4.4.2 Tekanan Efektif Rata-rata (BMEP) terhadap RPM	64
4.4.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) terhadap RPM	66
4.4.4 Effisiensi Thermal terhadap RPM.....	68
4.4.5 Lamda terhadap RPM	69
4.5 Analisa Gas Buang Bensin dengan Penambahan Gas HHO	71
4.5.1 Analisa Gas Buang Karbon Monoksida (CO)	71
4.5.2 Analisa Gas Buang Karbon Dioksida (CO ₂).....	72
4.5.3 Analisa Gas Buang Hidrokarbon (HC).....	73
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77
BIODATA PENULIS	79
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Perkembangan Konsumsi Minyak Bumi	2
Gambar 2.1	Tahap Pembakaran Mesin Bensin	9
Gambar 2.2	Diagram P-V Siklus Ideal Pada Motor Bensin 10 Langkah	12
Gambar 2.3	Tahapan Pembakaran Dalam SIE	13
Gambar 2.4	Batasan campuran bensin dan udara yang dapat dibakar dalam ruang bakar SIE	13
Gambar 2.5	Tipikal kurva ketiga polutan utama yang dihasilkan motor pembakaran dalam	32
Gambar 2.6	Grafik CO vc Engine Speed (rpm)	34
Gambar 2.7	Grafik NO (ppm) vc Engine Speed (rpm).....	35
Gambar 2.8	Variasi O ₂ vs engine speed (rpm).....	35
Gambar 2.9	Variasi CO ₂ vs engine speed (rpm).....	36
Gambar 2.10	Torsi Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamina dengan pertamax + gas HHO Terhadap RPM	36
Gambar 2.11	Grafik CO Menggunakan Bahan Bakar Pertamina dengan Pertamina + gas HHO Terhadap RPM	37
Gambar 2.12	Grafik CO ₂ Menggunakan Bahan Bakar Pertamina dengan dengan Pertamina + gas HHO Terhadap RPM	37
Gambar 2.13	Laju Produksi Gas HHO vs Waktu	39
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	42
Gambar 3.2	Flow Meter	43
Gambar 3.3	Power Supply	43
Gambar 3.4	PWM (Pulse With Modulation)	44
Gambar 3.5	Waterbrake Roller Chassis Dynamometer	44

Gambar 3.6 Instalasi pemasukan Gas HHO pada mesin	45
Gambar 4.1 Grafik Produksi Gas HHO Terhadap Waktu Pengujian.....	60
Gambar 4.2 Grafik Torsi Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamina, Pertamina + Gas HHO dan E85 + Gas HHO terhadap RPM.....	61
Gambar 4.3 Grafik Daya Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamina, Pertamina + Gas HHO dan E85 + Gas HHO terhadap RPM	62
Gambar 4.4 Grafik Nilai BMEP Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamina, Pertamina + Gas HHO dan E85 + Gas HHO terhadap RPM	65
Gambar 4.5 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamina, Pertamina + Gas HHO dan E85 + Gas HHO terhadap RPM.....	66
Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamina, Pertamina + Gas HHO dan E85 + Gas HHO terhadap RPM	68
Gambar 4.7 Grafik Lamda Menggunakan Bahan Bakar Pertamina, Pertamina + Gas HHO dan E85 + Gas HHO	
Gambar 4.8 Grafik CO Menggunakan Bahan Bakar Pertamina, Pertamina + Gas HHO dan E85 + Gas HHO	69
Gambar 4.9 Grafik CO ₂ Menggunakan Bahan Bakar Pertamina, Pertamina + Gas HHO dan E85 + Gas HHO	71
Gambar 4.10 Grafik HC Menggunakan Bahan Bakar Pertamina, Pertamina + Gas HHO dan E85 + Gas HHO	73

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data Fisik Kimia Pertamina	19
Tabel 2.2. Properties Ethanol	19
Tabel 2.3 Properties Campuran Bahan Bakar	21
Tabel 2.4. The Properties Of Hydrogen	22

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I

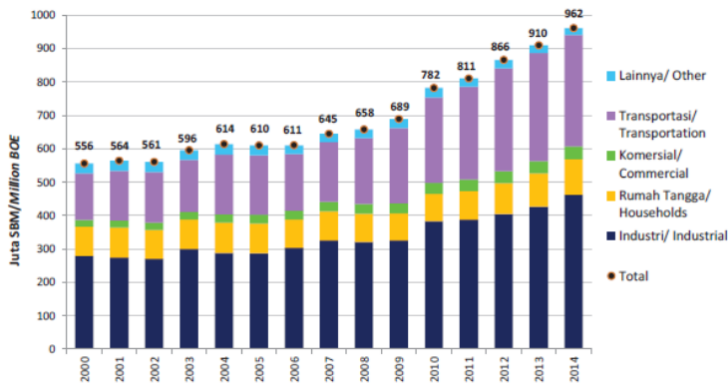
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ketersediaan bahan bakar fosil di Indonesia belakangan ini semakin menipis karena pengaruh penggunaan bahan bakar fosil yang terlalu banyak. Selain itu, bahan bakar fosil juga menghasilkan kandungan-kandungan gas yang kurang baik bagi lingkungan sekitar. Oleh karena itu dibutuhkan bahan bakar alternatif yang bersifat terbarukan, mudah didapat, mudah diolah dan diharapkan nantinya dapat menggeser ketergantungan terhadap minyak bumi.

Permintaan akan Bahan Bakar Minyak (BBM) terus meningkat dari tahun ke tahun, mengingat sampai saat ini minyak bumi merupakan sumber utama energi nasional. Khususnya pada dunia otomotif yang masih menggantungkan konsumsi energinya pada BBM. Data yang dikeluarkan oleh BP Statistical Review of World Energy dalam Energy in 2012 – adapting to a changing world, total konsumsi minyak bumi Indonesia pada tahun 2012 sebesar 1564 ribu barrel per hari. Konsumsi sumber energi lainnya seperti batu bara 136,54 BOE dan Gas 86,90 BOE.

Sektor transportasi menempati posisi nomor dua terbesar dalam konsumsi bahan bakar minyak nasional, nomor satu sektor industri dan nomor dua sektor rumah tangga. Setiap tahun semua sektor pengguna bahan bakar minyak pada sektor transportasi terus meningkat secara signifikan sedangkan cadangan bahan bakar minyak nasional tidak mampu memenuhi energi dalam negeri. Lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik Gambar 1.1 di bawah ini:



Gambar 1.1 Perkembangan konsumsi minyak bumi (Pusdatin ESDM, 2014)

Seiring dengan meningkatnya konsumsi sumber energi, emisi polutan yang dihasilkan dari pembakaran juga akan meningkat dan sangat berbahaya bagi pemanasan global, kesehatan manusia, hewan, tumbuhan (kelestarian lingkungan). Menurut Swisscontact (2001:3) gas buang kendaraan bermotor terdiri atas zat yang tidak beracun, seperti: nitrogen (N_2), karbondioksida (CO_2), dan uap air (H_2O) dan zat beracun seperti: karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NOX), sulfur oksida (SOX), zat debu timbal (Pb), dan partikulat. Untuk itu Pemerintah harus melakukan beberapa metode pengembangan kebijakan untuk mengurangi ketergantungan minyak bumi.

Ketergantungan pada bahan bakar fosil ini dapat dikurangi dengan sumber daya alam yang dapat diperbarui salah satu contohnya yaitu air. Air murni atau aquades tersusun dari atom hidrogen & atom oksigen. Atom hidrogen merupakan unsur kimia dalam bentuk gas. Gas hidrogen merupakan bahan bakar beroktan tinggi sebesar 130. Sedangkan atom oksigen yang menyusun molekul air sebagai pengikat agar terbentuk ikatan hidrogen yang setimbang berupa H_2O . Molekul air dapat dipisahkan menjadi atom hidrogen dan atom oksigen dalam bentuk gas. Gas oksigen dalam reaksi pembakaran berperan

sebagai oksidator yaitu berfungsi membantu terjadinya pembakaran, kandungan air/aquades disimpulkan memiliki kandungan bahan bakar dan oksidator.

Pada tahun 1895 telah dilakukan metode untuk memecah molekul air dengan cara elektrolisis (J.Hale,1919). Pembangkit gas hidrogen dan gas oksigen pertama yang moderen diperkenalkan oleh Dr. O. Schmidt tahun 1899 dengan menghasilkan 99% gas hidrogen murni dan 97% gas oksigen murni (J.Hale, 1919). Pada tahun 1977 Brown melakukan penelitian tentang pengelasan dengan memanfaatkan gas yang dihasilkan dari proses elektrolisa. Hasil penelitian Brown telah terpublikasi dan dipatenkan, sehingga gas hasil pemecahan molekul air tersebut lebih dikenal dengan Brown gas (King,2011). Metode yang digunakan Brown dikenal dengan elektrolisis. Metode elektrolisis dibutuhkan energi dalam bentuk potensial listrik untuk memecah molekul air. Perkembangan metode elektrolisis untuk memecah molekul air telah banyak dilakukan oleh para peneliti, pada tahun 1980-1998 Stanley mayer telah melakukan penelitian tentang Brown gas dan selanjutnya disebut gas HHO hingga berhasil memanfaatkan gas HHO sebagai bahan bakar sepeda motor.

Alat konvensional penghasil gas HHO dengan metode elektrolisa disebut dengan generator gas HHO (GHHO). Generator gas HHO (GHHO) ada 2 tipe, yaitu tipe basah (*Wet cell*) dan tipe kering (*Dry cell*). Perbedaan antara *Wet cell* dan *Dry cell* terletak pada luasan elektroda yang digunakan untuk elektrolisa. Elektrolit pada *Wet cell* merendam keseluruhan luasan elektroda, berbeda dengan elektroda *Dry cell* hanya sebagian yang terendam elektrolit.

Sampai saat ini telah banyak dan sedang dilakukan penelitian untuk mencari bahan bakar alternatif yang ramah terhadap lingkungan tanpa mengurangi tujuan untuk mendapatkan performa mesin yang lebih baik. Salah satu bahan bakar alternatif yang sedang populer saat ini adalah ethanol. Ethanol adalah bahan bakar alternative yang dapat diperbarui dan

terbuat dari tanaman. Ethanol dapat dipakai pada motor bensin dengan sedikit atau bahkan tanpa modifikasi sedikitpun. Disamping itu, ethanol memiliki angka oktan jauh lebih besar daripada bensin.

Sebenarnya ethanol sudah mulai digunakan sebagai bahan bakar sejak abad 19, namun kemudian ditinggalkan karena harga minyak bumi lebih murah dan mudah diproduksi. Akhir-akhir ini, berkenaan dengan menipisnya cadangan dan melambungnya harga minyak bumi, penggunaan ethanol kembali digalakkan. Ethanol dapat dijadikan sumber energi baru karena ethanol berasal dari bahan yang dapat diperbaharui dan mudah diperoleh.

Untuk itu selain penambahan gas HHO penambahan ethanol 85% pada pertamax diharapkan dapat menjadikan proses pembakaran di dalam ruang bakar menjadi lebih bersih karena ethanol berasal dari biomassa. Dengan reaksi pembakaran yang bersih maka pembakaran dapat berjalan dengan sempurna dan menurunkan emisi gas buang. Untuk memaksimalkan unjuk kerja engine diperlukan penambahan ethanol yang sesuai. Dengan perbandingan campuran yang tepat dapat menghasilkan pembakaran yang lebih baik. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa pengaruh penambahan variasi campuran ethanol 85% dan Pertamax terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang mesin bensin Pada Honda All New Megapro 150 cc.

Berdasarkan uraian tersebut maka ingin dilakukan penelitian mengenai aplikasi penambahan gas HHO dengan variasi campuran Pertamax dan ethanol 85 % ditambah bensin pertamax pada mesin sepeda motor Honda Megapro 150 cc.

1.2 Rumusah Masalah

Rumusan Masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan bahan bakar gas HHO pada pertamax murni dan E85 terhadap performa mesin pada mesin sepeda motor 4 langkah?

2. Bagaimana pengaruh penambahan bahan bakar gas HHO pada pertamax murni dan E85 terhadap kadar emisi gas buang dengan pemakaian bahan bakar standar pertamax jenis (RON 91) pada mesin sepeda motor 4 langkah?

1.3 Batasan Masalah

Untuk Melakukan eksperimen murni ini mempunyai batasan – batasan masalah Antara lain :

1. Bahan bakar yang digunakan jenis pertamax (RNO 91) yang ada di pasaran produksi pertamina
2. Kondisi Engine Honda New Megapro 150 cc pada kondisi standar
3. Ethanol yang digunakan memiliki kadar kemurnian 99.7%
4. Unjuk kerja yang di ukur yaitu torsi, daya, tekanan efektif rata-rata, konsumsi bahan bakar sfesifik, efisiensi thermal dan emisi gas buang.
5. Emisi gas buang berupa karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂) dan Hidrocarbon (HC)
6. Tidak membahas reaksi elektrolisa dan reaksi kimia dari proses generator HHO secara detail.

1.4 Tujuan Penelitian :

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan bakar gas HHO pada pertamax murni dan dan E85 terhadap performa mesin terhadap mesin sepeda motor 4 langkah.
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan bahan bakar gas HHO pada pertamax murni dan dan E85 terhadap kadar emisi gas buang pada mesin sepeda motor 4 langkah.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat Penelitian dari experiment ini adalah sebagai berikut :

1. Mendayagunakan energi alternatif yang efektif, efisien dan berdaya guna, yaitu pemampaan air dengan cara elektrolisasi agar menghasilkan bahan bakar hidrogen.
2. Sebagai solusi alternatif terhadap masalah pencemaran udara khususnya emisi gas buang sepeda motor.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan Tugas Akhir ini terbagi dalam lima bab yang secara garis besar dapat dijelaskan sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas bagaimana tinjauan umum tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat serta sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB II. DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan mengenai teori penunjang dan dasar perhitungan yang mendukung dalam pembuatan laporan tugas akhir.

BAB III. METODOLOGI

Pada bab ini akan dibahas mengenai metodologi penelitian, diagram alir penelitian dan proses mekanisme kerja penelitian.

BAB IV. PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai tentang penelitian material yang didapat setelah perencanaan penelitian.

BAB V. PENUTUP

Memuat kesimpulan berdasarkan tujuan Tugas Akhir dan rumusan masalah yang dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

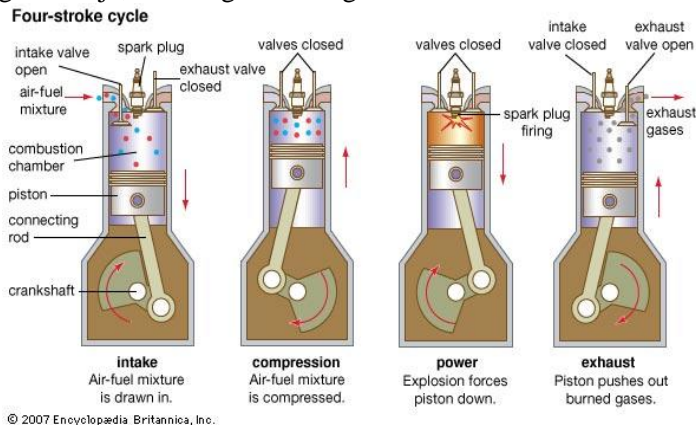
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Prinsip Dasar Motor Bensin 4-langkah

Dalam motor bensin 4-langkah, satu siklus kerja diselesaikan dalam empat langkah gerakan dari piston atau dua kali putaran dari crankshaft. Setiap langkah berisi 180° putaran crankshaft sehingga seluruh cycle menjadi 720° putaran crankshaft. Ada empat tahapan operasi dari siklus 4-langkah motor bensin. Diantaranya langkah hisap, langkah kompresi, langkah kerja, dan langkah buang.



Gambar 2.1. Tahap pembakaran Mesin Bensin

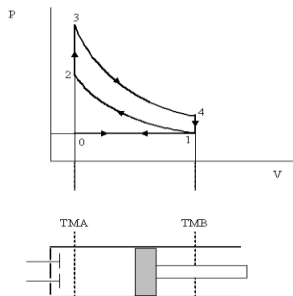
1. Langkah hisap (*intake*), dimulai dari saat piston bergerak dari TMA (titik mati atas) ke TMB (titik mati bawah). Katup inlet terbuka dan katup ekshaus tertutup. Campuran udara dan bahan bakar masuk melalui katup inlet.
2. Langkah kompresi (*compression*), dimulai saat kedua katup menutup dan piston mulai bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas. Saat piston menjelang berada di titik mati atas, campuran udara dan bahan bakar yang terkompresi di dalam

bagian *clearance* dinyalakan dengan bantuan loncatan bunga api listrik yang berasal dari busi.

3. Langkah kerja (*expansion*), campuran bahan bakar dan udara yang terbakar pada tekanan yang tinggi akan menekan piston hingga bergerak ke titik mati bawah. Pada saat itu, kedua katup masih menutup. Pada langkah inilah tenaga didapatkan, dan seiring gerak piston ke titik mati bawah, tekanan dan temperatur turun.
4. Langkah buang (*exhaust*), setelah piston mencapai titik mati bawah kemudian katup ekshaus membuka sementara katup inlet menutup. Piston mulai bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas mendorong gas sisa hasil pembakaran keluar melalui katup ekshaus.

2..1.1 Siklus Ideal Motor Bensin 4 Langkah

Adapun siklus ideal yang terjadi pada motor bensin 4 langkah adalah sebagai berikut :



Gambar 2.2 Diagram P–V siklus ideal pada motor bensin 4 langkah

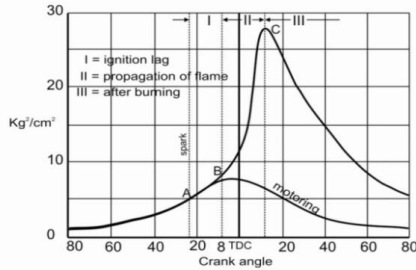
Penjelasan untuk diagram P–V pada gambar 2.2 sebagai berikut :

- **Proses 0 – 1** merupakan langkah hisap bahan bakar, dimana piston mulai bergerak dari *TMA* (*titik mati atas*) menuju ke *TMB* (*titik mati bawah*) dengan posisi katup hisap terbuka dan katup buang tertutup. Dari langkah piston ini mengakibatkan tekanan didalam ruang bakar

menjadi turun maka campuran bahan bakar dengan udara akan terhisap ke dalam ruang bakar.

- **Proses 1 – 2** merupakan langkah kompresi dimana piston bergerak ke atas lagi menuju *TMA* setelah langkah hisap selesai, dengan posisi katup hisap dan katup buang tertutup. Langkah ini akan dapat menaikkan tekanan pada ruang bakar yang telah terisi campuran bahan bakar dengan udara.
- **Proses 2 – 3** merupakan proses pembakaran bahan bakar dimana proses ini terjadi sesaat sebelum akhir dari langkah kompresi. Campuran bahan bakar dengan udara yang telah terkompresi mulai terbakar akibat adanya percikan api yang dihasilkan oleh busi. Akibat dari proses pembakaran ini tekanan dan temperatur di ruang bakar mengalami kenaikan.
- **Proses 3 – 4** merupakan langkah kerja dari engine dimana piston akan bergerak menuju *TMB* akibat dari kenaikan tekanan yang ditimbulkan pada proses pembakaran. Pada langkah ini posisi katup hisap dan katup buang masih dalam kondisi tertutup dan katup buang akan mulai terbuka saat piston beberapa derajat poros engkol mendekati *TMB*.
- **Proses 4 – 0** merupakan langkah buang dimana pada akhir langkah kerja piston, katup buang telah terbuka dan katup hisap masih tertutup dan piston bergerak menuju ke *TMA* membuang gas pembakaran keluar dari silinder.

Pembakaran yang terjadi didalam ruang bakar pada motor bensin terdiri dari beberapa tahapan seperti pada diagram dibawah ini :



Gambar 2.3 Tahapan Pembakaran dalam SIE

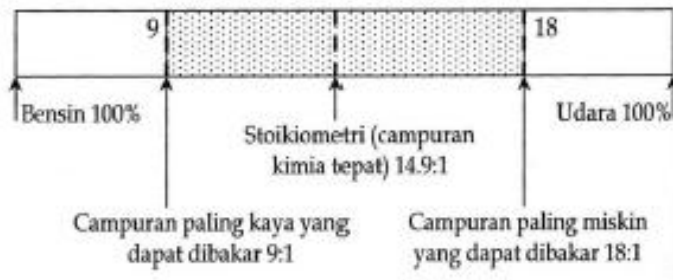
Tahapan pertama disebut *ignation lag* yang merupakan fase persiapan yang mana terjadi pertumbuhan dan perkembangan dari inti api. Tahapan ini tergantung sepenuhnya pada sifat alami bahan bakar, seperti, temperatur, tekanan, sifat gas buang, dan laju percepatan oksidasi dalam ruang bakar. *Ignition lag* terjadi dari A-B pada saat kompresi berlangsung sehingga garis A-B disebut garis kompresi. Tahap kedua disebut *propagation of flame* dimana terjadi perubahan temperatur, tekanan, dan sifat bahan bakar akibat oksidasi. Perubahan tekanan terjadi disepanjang garis pembakaran (B-C). Pada grafik diatas, titik C menunjukkan selesainya perjalanan api. Namun, pembebasan panas dari bahan bakar masih berlangsung meskipun tidak memberikan kenaikan tekanan di dalam silinder dikarenakan pada saat itu sudah terjadi proses ekspansi. Oleh karena itu, tahapan ini dikenal dengan istilah pembakaran lanjut (*after burning*).

2.2 Internal Combustion Engine (ICE)

Menurut Kawano (2011), pembakaran pada internal combustion engine (ICE) adalah kombinasi kimia yang relatif sangat cepat antara hidrogen dan karbon di bahan bakar dengan oksigen yang menghasilkan pembebasan energi dalam bentuk panas. Pembakaran akan terjadi di dalam ruang bakar pada ICE selama tiga syarat terpenuhi, yaitu harus ada bahan bakar yang dapat dibakar, harus ada oksigen untuk oksidasi, dan upaya yang dapat memulai oksidasi yakni pemicu panas. Pembakaran

sempurna/stoikiometri adalah pembakaran kimia tepat, yang mempunyai jumlah bensin dan oksigen tepat sehingga bensin dapat dioksidasi habis oleh oksigen.

Besarnya angka stoikiometri sangat tergantung pada komposisi bahan bakar hidrokarbon sehingga mempunyai rentangan 14,6:1 s/d 15,0:1 artinya 1 bagian bensin berbanding 14,6 s/d 15,0 bagian udara. Secara sistematis batasan campuran bahan bakar bensin dan udara yang dapat dibakar dalam ruang bakarspark ignition engine (SIE) dapat digambarkan seperti gambar 2.4 di bawah ini :



Gambar. 2.4 Batasan campuran bensin dan udara yang dapat dibakar dalam ruang bakar SIE (Kawano,2011)

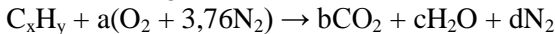
Proses pembakaran dikatakan sempurna bila campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar seluruhnya pada waktu dan keadaan yang dikehendaki. Selain itu, pembakaran sempurna terjadi bila seluruh iso-oktana (C_8H_{18}) dapat bereaksi seluruhnya menjadi CO_2 dan H_2O . Berikut ini reaksi pembakaran sempurna :

$$C_8H_{18} + 12,5 (O_2 + 3,76 N_2) \longrightarrow 8 CO_2 + 9 H_2O + 47 N_2$$

Perbandingan udara bahan bakar atau AFR didefinisikan sebagai jumlah massa udara yang dibutuhkan untuk pembakaran setiap satu-satuan masa bahan bakar. Kondisi yang menggambarkan campuran ideal antara udara dan bahan bakar dinyatakan dengan kondisi stoikiometri.

2.2.1. Pembakaran Stoikiometri Kebutuhan Udara

Bahan bakar hidrokarbon akan dioksidasi secara menyeluruh menjadi karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O) jika tersedia pasokan oksigen dalam jumlah yang cukup. Kondisi pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran stoikiometri dan persamaan reaksi kimia untuk pembakaran stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon (C_xH_y) dengan udara dituliskan sebagai berikut :



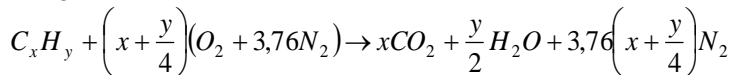
Kesetimbangan C : $x = b$

Kesetimbangan H : $y = 2c \rightarrow c = y/2$

Kesetimbangan O : $2a = 2b + c \rightarrow a = b + c/2 \rightarrow a = x + y/4$

Kesetimbangan N : $2(3,76)a = 2d \rightarrow d = 3,76a \rightarrow d = 3,76(x + y/4)$

Substitusi persamaan-persamaan kesetimbangan di atas ke dalam persamaan reaksi pembakaran C_xH_y menghasilkan persamaan sebagai berikut :



Jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mendapatkan pembakaran stoikiometri adalah :

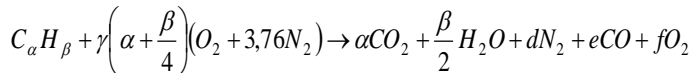
$$m_{\text{O}_2} = \frac{m_{\text{atom O}_2}}{m_{\text{mol C}_x\text{H}_y}} \times \text{persentase C}_x\text{H}_y \text{ (kg/kg bahan bakar)}$$

Stoikiometri massa yang didasarkan pada rasio udara dan bahan bakar (*air fuel ratio*) untuk bahan bakar hidrokarbon (C_xH_y) adalah sebagai berikut :

$$\left(\frac{A}{F}\right)_s = \frac{m_{\text{air}}}{m_{\text{fuel}}} = \frac{\left(\sum n_i \bar{M}_i\right)_{\text{air}}}{\left(\sum n_i \bar{M}_i\right)_{\text{fuel}}} = \frac{\left(x + \frac{y}{4}\right)\bar{M}_{\text{O}_2} + 3,76\left(x + \frac{y}{4}\right)\bar{M}_{\text{N}_2}}{x\bar{M}_C + y\bar{M}_H}$$

2.2.2. Pembakaran Non Stoikiometri

Mekanisme pembakaran dituntut dapat berlangsung secara cepat sehingga sistem-sistem pembakaran dirancang dengan kondisi udara berlebih. Hal ini dimaksudkan untuk mengantisipasi kekurangan udara akibat tidak sempurnanya proses pencampuran antara udara dan bahan bakar. Pembakaran yang demikian disebut sebagai pembakaran non stoikiometri. Persamaan reaksi kimia untuk pembakaran non stoikiometri dari suatu bahan bakar hidrokarbon ($C_\alpha H_\beta$) dengan udara dituliskan sebagai berikut :



- a. Pembakaran dengan komposisi campuran stoikiometri
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum dengan kehilangan panas yang minimum. Hasil pembakaran berupa CO_2 , uap air, dan N_2 .
- b. Pembakaran dengan komposisi campuran miskin
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang maksimum tetapi diikuti dengan bertambahnya kehilangan panas karena udara berlebih. Hasil pembakaran berupa CO_2 , uap air, O_2 dan N_2 .
- c. Pembakaran dengan komposisi campuran kaya
Pada proses ini terjadi perpindahan panas yang kurang maksimum karena ada bahan bakar yang belum terbakar. Hasil pembakaran berupa HC, CO, CO_2 , H_2O , dan N_2 . Sedangkan fraksi karbon terbentuk dari reaksi sekunder antara CO dan H_2O .

2.3. Bahan Bakar Gasoline

Bahan bakar gasoline (bensin) adalah produk utama dari petroleum dan biasanya hanya untuk bahan bakar S.I Engine. Terdiri dari bermacam campuran seperti: parafin, olefin, naphthane dan aromatik. Komposisi gasoline berubah tergantung dari minyak bumi dan proses refining.

2.3.1 Karakteristik bahan bakar gasoline

Karakteristik yang umum untuk menilai kinerja bahan bakar mesin bensin antara lain

1. Bilangan oktan
Angka oktan pada bahan bakar mesin bensin menunjukkan kemampuan menghindari terbakarnya campuran udara bahan bakar sebelum waktunya. Jika campuran udara bahan bakar terbakar sebelum waktunya akan menimbulkan fenomena knocking yang berpotensi menurunkan daya mesin bahkan menimbulkan kerusakan pada komponen mesin.
2. Nilai Kalor
Nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna persatuan massa atau volume bahan bakar tersebut. Dari bahan bakar yang ada dibakar, nilai kalor yang terkandung akan diubah menjadi energi mekanik melalui kerja komponen mesin. Besarnya nilai kalor atas diuji menggunakan bomb calorimeter.
3. Viskositas
Viskositas terkait dengan tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi, biasanya dinyatakan dalam waktu yang diperlukan untuk mengalir pada jarak tertentu. Jika viskositas semakin tinggi, maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi. Karakteristik ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja karburator pada mesin bensin.
4. Titik Nyala
Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan temperatur terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan minyak tersebut didekatkan pada nyala api.

Flash point mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan untuk terbakar dari suatu bahan bakar.

5. Titik Tuang (Pour Point)

Titik tuang adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak sehingga minyak tersebut masih dapat mengalir karena gaya gravitasi. Titik tuang merupakan ukuran daya atau kemampuan bahan bakar pada temperatur rendah, yang berarti bahwa kendaraan dapat menyala pada temperatur rendah karena bahan bakar masih dapat mengalir. Selain itu terkait dengan proses penyimpanan dalam tangki dan pengaliran pada suatu pipa.

6. Kestabilan kimia dan kebersihan bahan bakar

Kestabilan kimia bahan bakar sangat penting, karena berkaitan dengan kebersihan bahan bakar yang selanjutnya berpengaruh terhadap sistem pembakaran dan sistem saluran. Pada temperatur tinggi, bahan bakar sering terjadi polimer yang berupa endapan-endapan *gum* (getah) ini berpengaruh kurang baik terhadap sistem saluran misalnya pada katup-katup dan saluran bahan bakar. Bahan bakar yang mengalami perubahan kimia, menyebabkan gangguan pada proses pembakaran. Pada bahan bakar juga sering terdapat saluran/senyawa yang menyebabkan korosi, senyawa ini antara lain : senyawa belerang, nitrogen, oksigen, dan lain-lain. Kandungan tersebut pada bensin harus diperkecil untuk mengurangi korosi yang dapat terjadi pada dinding silinder, katup, busi, dan lainnya. Hal inilah yang menyebabkan awal kerusakan pada mesin.

7. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis adalah suatu angka yang menyatakan perbandingan berat dari bahan bakar minyak pada temperatur tertentu terhadap air pada volume dan temperatur yang sama. Besar nilai berat jenis suatu zat dapat dicari dengan menggunakan Piknometer.

Penggunaan specific gravity adalah untuk mengukur berat/massa minyak bila volumenya telah diketahui. Bahan bakar minyak umumnya mempunyai specific gravity antara 0,74 dan 0,96 dengan kata lain bahan bakar minyak lebih ringan daripada air. Di Amerika, specific gravity umumnya dinyatakan dengan satuan yang lain yaitu API Gravity (American Petroleum Institute Gravity) dengan cara perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$API\ Gravity = \frac{141,5}{Specific\ Gravity\ (60^{\circ}F)} - 131,5$$

2.3.2 Bahan Bakar Pertamina

Pertamax merupakan bahan bakar minyak andalan Pertamina. Pertamina, seperti halnya Premium, adalah produk BBM dari pengolahan minyak bumi. Pertamina dihasilkan dengan penambahan zat aditif dalam proses pengolahannya di kilang minyak. Pertamina pertama kali diluncurkan pada tahun 1999 sebagai pengganti Premix 98 karena unsur MTBE yang berbahaya bagi lingkungan. Selain itu, Pertamina memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan Premium. Pertamina direkomendasikan untuk kendaraan yang diproduksi setelah tahun 1990, terutama yang telah menggunakan teknologi setara dengan Electronic Fuel Injection (EFI) dan catalytic converters (pengubah katalitik).

Keunggulan Pertamina :

- Bebas Timbal
- Oktan atau Research Octane Number (RON) jauh lebih tinggi dari premium

Karena memiliki oktan tinggi, maka Pertamina bisa menerima tekanan pada mesin berkompresi tinggi, sehingga dapat bekerja dengan optimal pada gerakan piston

Tabel 2.1 Data fisik dan kimiawi pertamax**SPESIFIKASI PERTAMAX**

NO.	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN		METODE UJI	
			MIN	MAKS	ASTM	LAIN
1.	Bilangan Oktana Pilet	RON	92,0	-	D 2699	
2.	Stabilitas Oksidasi	Menit	480	-	D 525	
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05 ¹	D 2622 / D 4294	
4.	Kandungan Timbal (Pb)	gr/liter	-	0,013 ²	D 3237	
5.	Kandungan Fosfor	mg/l	-	-	D 3231	
6.	Kandungan Logam (Mn, Fe, dll)	mg/l	-	-	D 3821	
7.	Kandungan Silikon	mg/kg	-	-	ICP-AES (Merujuk metode in house dengan batasan deteksi = 1 mg/kg)	
8.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7 ³	D 4815	
9.	Kandungan Olefin	% v/v	-	4	D 1319	
10.	Kandungan Aromatik	% v/v	-	50,0	D 1319	
11.	Kandungan Benzena	% v/v	-	5,0	D 4420	
12.	Distilasi				D 86	
	10% vol. pengapuan	°C	-	70		
	50% vol. pengapuan	°C	77	110		
	90% vol. pengapuan	°C	130	180		
	Titik didih akhir	°C	-	215		
	Residu	% v/v	-	2,0		

2.4 Ethanol

Ethanol atau yang biasa disebut bioethanol (etil alcohol, grain alcohol, $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ atau ETOH) adalah biofuel dalam bentuk cair yang dapat diproduksi dari berbagai jenis biomasa seperti gandum, tebu, jagung, singkong maupun limbah pertanian, melalui teknologi biokonversi. Ethanol adalah bahan bakar pengganti bensin atau gas.. Ethanol memiliki RON sekitar 108, sehingga sering dijadikan campuran pada bensin untuk menghasilkan bahan bakar dengan

Tabel 2.2 Properties Ethanol

Properties	Ethanol
Formula Kimia	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
Berat Molekul	46.07
Komposisi, % Berat	
Carbon	52.2
Hydrogen	13.1
Oxygen	34.7
Specific Grafity, 60° F/60° F	0.796
Densitas, lb/gal pada 60° F	6.61
Titik didih, °C	78
Viscosity, cP pada 20° C	1.2

Kelebihan ethanol bila dibandingkan dengan premium diantaranya:

- Memiliki nilai RON yang tinggi.
- Dapat dibuat dari bahan yang dapat terbarukan sehingga tidak tergantung dengan cadangan minyak mentah dunia.

Sedangkan kekurangannya bila dibandingkan dengan premium diantaranya:

- Nilai kalornya lebih rendah.
- Mudah menguap.

Ethanol bersifat korosif, sehingga bagian dalam komponen sistem pemasukan bahan bakar harus diperhatikan. Penggunaan ethanol sebagai bahan bakar dilatar belakangi oleh tingginya tingkat pencemaran udara yang sebagian besar ditimbulkan oleh kendaraan bermotor yang sebagian besar menggunakan bahan bakar hidrokarbon, selain itu dengan meningkatnya harga minyak mentah dunia menyebabkan diperlukan bahan bakar alternatif yang bisa diperbaharui.

Ethanol dapat diproduksi secara petrokimia melalui hidrasi etilena ataupun secara biologis melalui fermentasi gula dengan ragi.

2.4.1 Fermentasi

Ethanol untuk kegunaan konsumsi manusia (seperti minuman beralkohol) dan kegunaan bahan bakar diproduksi dengan cara fermentasi. Spesies ragi tertentu (misalnya *Saccharomyces cerevisiae*) mencerna gula dan menghasilkan ethanol dan karbon dioksida:



Proses membiakkan ragi untuk mendapatkan alkohol disebut sebagai fermentasi. Konsentrasi ethanol yang tinggi akan beracun bagi ragi. Pada jenis ragi yang paling toleran terhadap ethanol, ragi tersebut hanya dapat bertahan pada lingkungan 15% ethanol

berdasarkan volume. Untuk menghasilkan ethanol dari bahan-bahan pati, misalnya sereal, pati tersebut haruslah diubah terlebih dahulu menjadi gula. Untuk ethanol bahan bakar, hidrolisis pati menjadi glukosa dapat dilakukan dengan lebih cepat menggunakan asam sulfat encer, menambahkan fungi penghasil amilase, ataupun kombinasi dua cara tersebut.

Pada penelitian sebelumnya telah memvariasikan variasikan menggunakan bahan bakar E85 (sering disebut *Flexible Fuel Vehicles/FFV*). Dan berikut adalah properties premium, ethanol, dan campuran gasoline ethanol E85 yang disajikan pada table 2.3

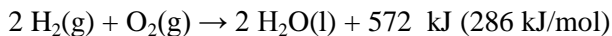
Tabel 2.3 Properties Bahan bakar

Jenis pengujian	Unit	Gasoline	Ethanol	E85
SG		0.7391	0.813	0.801
RON	-	91-98	± 108	> 111
RVP	KPA	5.59	2.35	5.46
Density	Kg/m ³	764	790	801
Stoichiometric air/fuel	-	14,7	9	9,8
Lower Heating Value	MJ/Kg	42,9	26,7	29,1

2.5 Brown Gas (Hidrogen Hidrogen Oksida, HHO)

Brown Gas merupakan gas hasil dari proses pemecahan air murni (H₂O) dengan proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan Oksigen, dengan komposisi 2 Hidrogen dan 1 Oksigen (HHO) (Lowrie, Peter E.W. 2005). Oleh karena itu Brown's gas juga lebih dikenal dengan nama gas HHO. Teknologi untuk memecah molekul air menjadi gas HHO dengan cara elektrolisis air sebenarnya telah ditemukan sejak tahun 1800 oleh William Nicholson dan Johann Ritter. Kemudian pada tahun 1805, Isaac de rivaz (1752- 1828) menggunakan gas hidrogen dari hasil

elektrolisis air sebagai bahan bakar mesin pembakaran internal yang ia rancang dan ia buat sendiri (Hidayatullah, P dan Mustari,F. 2008).Namun gas hasil dari elektrolisis air tersebut baru diberi nama dan dipatenkan oleh Dr. Yull Brown, pada tahun 1974. Gas hasil dari elektrolisis air tersebut diberi nama Brown gas. Selain menggunakannya sebagai suplemen bahan bakar pada mesin, Dr. Yull Brown juga menggunakan brown gas untuk pengelasan (cutting and welding torch). Pada prinsipnya air memang dapat diubah menjadi hidrogen dengan teknik elektrolisis dan gas hidrogen digunakan sebagai bahan bakar. Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H₂ di udara bebas. Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:



Berikut ini perbandingan properties bahan bakar gasoline dengan hydrogen yang dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Properties Hydorgen and gasoline

Properties	Gasoline	Hydrogen
Autoignition temperatue (k)	533-733	856
Minimum ignition energy (mj)	0,24	0,02
Flammability limits (Volume % in Air)	1,4-7,6	4-73
Stoichiometri air fuel ratio on mass basis	14,7	34,2
Limits of Flamability (Equivalence Ratio)	0,7–3,8	0,1-7,1
Density at 16 ⁰ C and 1,01 bar (kg/m ³)	721-785	0,0838
Flame Velocity (cm ² /s)	37-43	265-325
Queenching gap in air (cm)	0,2	0,064
Diffusivity in air (cm ² /s)	0,08	0,63
Research octane number	92-98	130
Motor octane number	80-90	-
Flashpoint	Approximately - 45 ⁰ F (45 ⁰ C:230 K)	-423 ⁰ F (< - 253 ⁰ C , 20 K)

Sumber : International journal of hydrogen energy 35 (Ali Can Yilmaz, Erinc, Uludamar, Kadir Aydin 2010) 11366 – 11372 dan hydrogen fuel cell engines and related technologies: Rev 0, December 2001.

Ketika hidrogen dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan akan meledak ketika diberi api dan akan meledak sendiri pada temperatur 858 K. Pada Tabel 2.1 memperlihatkan properties hidrogen pada temperatur 25⁰C 1 atm. Adapun perbandingan nilai energi yang dimiliki oleh hidrogen paling besar diantara gas fuel yang lain.

2.5.1 Proses elektrolisa air untuk memproduksi gas HHO

Elektrolisis adalah suatu proses untuk memisahkan senyawa kimia menjadi unsur-unsurnya atau memproduksi suatu molekul baru dengan memberi arus listrik. Sedangkan elektrolisis air adalah proses elektrolisa yang dimanfaatkan untuk memecah molekul air (H₂O) menjadi Hidrogen (H₂) dan Oksigen (O₂). Elektrolisis air pada dasarnya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik ke air melalui dua buah elektroda (Katoda dan Anoda). Agar proses elektrolisa dapat terjadi dengan cepat maka air tersebut dicampur dengan elektrolit sebagai katalis.

Proses elektrolisis air dapat terjadi dengan setengah reaksi asam ataupun basa ataupun keduanya. Terjadinya reaksi asam ataupun basa tergantung oleh kondisi lingkungan atau jenis elektrolit yang digunakan (Dopp, R.B.2007). Jika elektrolit yang digunakan berupa larutan asam seperti HCl dan H₂SO₄ maka reaksi yang terjadi adalah reaksi asam. Pada reaksi ini reaksi reduksi terjadi pada elektroda negatif (katoda), dimana elektron (e-) dari katoda diikat oleh kation H⁺

Reaksi oksidasi di anoda (+) : $2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{O}_2(\text{g}) + 4 \text{H}^+(\text{aq}) + 4 \text{e}^-$

Reaksi reduksi di katoda (-) : $2 \text{H}^+(\text{aq}) + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g})$

Reaksi keseluruhan : $2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$

Jika elektrolit yang digunakan adalah larutan basa seperti KOH, NaOH (basa dari golongan periode IA, alkali tanah) maka akan terjadi reaksi basa. Pada reaksi basa, reaksi reduksi terjadi di

katoda dimana molekul air mengikat elektron (e^-) sehingga terpecah menjadi gas Hidrogen ($H_2(g)$) dan anion OH^- . Anion OH^- tersebut kemudian tertarik kesisi anoda dan terpecah menjadi gas oksigen dan molekul $H_2O(l)$, sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi kimia berikut :

Reaksi reduksi di katoda (-) : $2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$

Reaksi oksidasi di anoda (+) : $4OH^-(aq) \rightarrow O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^-$

Reaksi keseluruhan : $2H_2O(l) \rightarrow 2H_2(g) + O_2(g)$

2.6 Parameter peforma generator HHO tipe Drycell

Pemasangan generator HHO untuk digunakan pada sepeda motor harus memperhatikan faktor biaya pembuatan, biaya instalasi, biaya perawatan dan juga faktor safety. Sehingga masyarakat dapat merasa aman ketika akan menggunakannya. Dengan pemakaian generator HHO pada sepeda motor diharapkan masyarakat dapat mengurangi biaya pembelian BBM pada sepeda motor mereka. Untuk memperoleh biaya listrik yang sekecil mungkin akan sangat dipengaruhi oleh performa dari generator HHO tersebut. Adapun parameter performa dari generator HHO tersebut adalah:

1. Laju produksi gas HHO (mass flowrate)

2.6.1 Laju produksi gas HHO (mass flowrate)

Untuk menghitung laju produksi gas HHO, maka harus diketahui dahulu massa jenis dari gas HHO itu sendiri. Jika pada STP (keadaan ideal) massa jenis H_2 diketahui sebesar $\rho_{H_2} = 0,08235 \text{ gr/ltr}$ dan O_2 sebesar $\rho_{O_2} = 1,3088 \text{ gr/ltr}$ (Cole Parmer Instrument, 2005) , maka ρ_{HHO} dapat dicari penurunan persamaan berikut ini:

$$\rho_{HHO} = 0.491167 \frac{gr}{L}$$

Produk utama proses elektrolisa air dengan menggunakan generator HHO adalah gas HHO. Sehingga untuk mengetahui seberapa baik kinerja generator HHO, perlu diketahui seberapa banyak gas HHO yang dihasilkan oleh generator HHO tersebut.

Untuk menghitung massflowrate gas HHO dapat dicari dengan persamaan berikut ini :

$$\dot{m} = Q \times \rho \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

\dot{m} = Laju Produksi Gas HHO (Flow Rate) (kg/s)

Q = Debit produksi Gas HHO (m³/s)

ρ = Massa Jenis HHO (kg/m³)

$$Q = V/t \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

V = Volume gas terukur (m³)

t = waktu produksi gas HHO (detik)

Volume gas terukur didapatkan dari peralatan ukur gas yang peneliti buat dengan lembaran plastik yang dibuat silinder tertutup di salah satu sisinya tanpa ada kebocoran dengan volume ukur 500 cc dan waktu produksi gas didapat dari pengukuran waktu menggunakan stopwatch dimulai dari garis 0⁰ C sampai gas memenuhi volume silinder ukur sebesar 500 cc.

2.7 Campuran Udara dan Bahan Bakar

Dalam suatu proses pembakaran beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain bahan bakar, oksigen (udara), kalor dan reaksi kimia. Selain itu, campuran bahan bakar dan udara memegang peranan yang penting juga dalam menentukan hasil proses pembakaran itu sendiri yang secara langsung mempengaruhi reaksi pembakaran yang terjadi serta hasil keluaran (produk) proses pembakaran.

Menurut Tri Nugroho (2007), beberapa metode yang digunakan untuk menghitung rasio campuran bahan bakar dan udara antara lain AFR (air-fuel ratio), FAR (fuel-air ratio), dan ratio equivalen (Φ).

2.7.1 Rasio udara-bahan bakar (air-fuel ratio/AFR)

Metode ini paling sering digunakan untuk mendefinisikan campuran dan merupakan perbandingan antara massa dari udara dan bahan bakar pada suatu titik tinjau. Secara simbolis, AFR dihitung sebagai :

$$AFR = \frac{\dot{m}_{udara}}{\dot{m}_{bb}}$$

Jika nilai aktual lebih besar dari nilai AFR, maka terdapat udara yang jumlahnya lebih banyak daripada yang dibutuhkan oleh sistem dalam proses pembakaran dan dikatakan miskin bahan bakar dan jika nilai aktual lebih kecil dari AFR stokiometrik maka tidak cukup terdapat udara pada sistem dan dikatakan kaya bahan bakar.

2.7.2 Rasio bahan bakar-udara (fuel air ratio/FAR)

Rasio bahan bakar-udara merupakan kebalikan dari pada AFR yang dirumuskan sebagai berikut:

$$FAR = \frac{\dot{m}_{bb}}{\dot{m}_{udara}}$$

2.7.2 Rasio Ekuivalen (Equivalent Ratio/ Φ)

Metode ini termasuk metode yang umum digunakan. Rasio ekuivalen (Φ) didefinisikan sebagai perbandingan antara rasio udara-bahan bakar (AFR) stokiometrik dengan udara-bahan bakar (AFR) actual :

$$\Phi = \frac{AFR_s}{AFR_a}$$

- $\Phi > 1$ terdapat kelebihan bahan bakar dan campurannya disebut dengan campuran kaya bahan bakar (fuel-rich mixture).
- $\Phi < 1$ campurannya disebut dengan campuran miskin bahan bakar (fuel-lean mixture).
- $\Phi = 1$ merupakan campuran stokiometrik (pembakaran sempurna)

Pada proses pembakaran bahan bakar bensin, udara yang dibutuhkan untuk membakar 1 kg bahan bakar sebanyak 14,7 kg yang kemudian disebut perbandingan campuran udara dan bahan bakar stoikiometri 14,7:1. Sedangkan pada bahan bakar gas

hidrogen perbandingan campuran udara dan bahan bakar pada kondisi stoikiometri adalah 34,3 : 1. Faktor udara eksek (excess-air factor) λ mengindikasikan seberapa jauh perbandingan udara dan bahan bakar aktual dengan perbandingan udara dan bahan bakar secara teoritis. $\lambda=1$ menunjukkan bahwa mesin berjalan dengan perbandingan udara dan bahan bakar pada kondisi stoikiometri. Jika $\lambda<1$ menunjukkan mesin tersebut mengandung lebih banyak bahan bakar (campuran kaya), sedangkan jika $\lambda>1$ (di bawah batasan $\lambda=1,6$) menunjukkan mesin tersebut mengalami kelebihan udara/ kekurangan bahan bakar (campuran miskin).

2.8 Parameter Unjuk Kerja Motor Bensin

Performa mesin menunjukkan tingkat kesuksesannya dalam mengkonversi energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanik. Untuk itu, ada beberapa parameter yang digunakan sebagai ukuran terhadap performa atau unjuk kerja agar mesin tersebut dapat bekerja secara optimal sesuai tujuan penggunaannya. Selain parameter performa, mesin juga harus diketahui kandungan emisinya sehingga pengaruhnya terhadap lingkungan dapat diketahui. Ada beberapa parameter yang digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja dari mesin bensin antara lain:

2.8.1 Torsi

Kemampuan mesin dalam menghasilkan kerja ditunjukkan dengan nilai torsi yang dihasilkannya. Dan didalam keadaan sehari-hari torsi digunakan untuk akselerasi kendaraan untuk mendapatkan kecepatan tinggi. Torsi merupakan perkalian antara gaya tangensial dengan panjang lengan. Rumus untuk menghitung torsi pada engine adalah sebagai berikut :

$$\text{Torsi} = F \cdot R \quad (2.6)$$

(N.m).....

dimana:

F = gaya tangensial (N)

R = panjang lengan waterbrake dynamometer (m)

2.8.2 Daya (bhp)

Tujuan dari pengoperasian mesin adalah untuk menghasilkan daya atau power. Brake horse power merupakan daya yang dihasilkan dari poros output mesin yang dihitung berdasarkan laju kerja tiap satuan waktu. Nilai daya sebanding dengan gaya yang dihasilkan dan kecepatan linearnya atau sebanding dengan torsi poros dan kecepatan sudutnya.

Untuk menghitung daya motor digunakan perumusan :

$$\text{bhp} = \omega \cdot T$$

$$\text{bhp} = 2\pi \cdot n \cdot T \text{ (Watt)}$$

$$\text{bhp} = 2\pi \cdot n \cdot T / 746 \text{ (hp)} \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana :

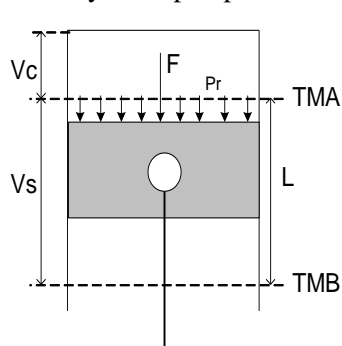
T = Torsi (N.m)

n = putaran poros waterbrake dynamometer (rps)

2.8.3 Tekanan efektif rata-rata (BMEP)

Tekanan efektif rata-rata (*mean effective pressure*) didefinisikan sebagai tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya. Jika tekanan efektif rata-rata dihitung berdasarkan pada bhp (*brake horse power*) maka disebut bmep (*brake mean effective pressure*).

Besarnya bmep dapat diturunkan sebagai berikut :



Gaya yang bekerja mendorong piston kebawah :

$$F = P_r \times A$$

Kerja selama piston bergerak dari TMA ke TMB :

$$W = F \times L = (P_r \cdot A) \times L$$

Daya Motor (Kerja per satuan waktu):

Jika poros engkol berputar n rpm,

maka dalam 1 menit akan terjadi $\frac{n}{z}$ siklus kerja.

dimana $\frac{n}{z} \left(\frac{\text{siklus}}{\text{menit}} \right)$; $z = 1$ (2langkah), 2 (4langkah)

Daya tiap silinder : $N = \frac{\text{Pr} \cdot A \cdot L \cdot n}{z}$

Daya motor sejumlah “i” silinder : $N = \frac{\text{Pr} \cdot A \cdot L \cdot n \cdot i}{z}$

Jika $N = \text{bhp}$ dan $P_r = \text{bmep}$, maka :

$$\text{bmep} = \frac{\text{bhp} \times z}{A \times L \times n \times i} \text{ (Pa)} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

bhp = daya motor, Watt

A = Luas penampang torak, m^2

L = Panjang langkah torak, m

i = Jumlah silinder

n = Putaran mesin, rps

z = 1 (motor 2 langkah) atau 2 (motor 4 langkah)

2.8.4 Pemakaian bahan bakar spesifik (sfc)

Konsumsi bahan bakar (*fuel consumption*) merupakan banyaknya jumlah bahan bakar yang digunakan oleh mesin selama satuan waktu tertentu. Sedangkan, *sfc* (*specific fuel consumption*) merupakan jumlah konsumsi bahan bakar mesin selama satuan waktu tertentu untuk menghasilkan satu daya efektif. Karena perhitungan *sfc* didasarkan pada *bhp* (*brake horse power*) maka disebut *bsfc* (*brake specific fuel consumption*).

Apabila dalam pengujian diperoleh data mengenai penggunaan bahan bakar m (kg) dalam waktu s (detik) dan daya yang dihasilkan sebesar *bhp* (hp), maka pemakaian bahan bakar per jam (\dot{m}_{bb}) adalah :

$$\dot{m}_{bb} = \frac{m_{bb}}{s} \quad (kg/detik)$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{3600 \cdot m_{bb}}{s} \quad (kg / jam) \dots\dots\dots (2.9)$$

Sedangkan besarnya pemakaian bahan bakar spesifik adalah :

$$Sfc = \frac{3600 \cdot \dot{m}_{bb}}{bhp} \quad (kg/kW.jam) \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

m_{bb} = massa bahan bakar yang dikonsumsi mesin (kg)

\dot{m}_{bb} = pemakaian bahan bakar tiap satuan waktu (kg/detik atau kg/jam)

s = waktu konsumsi bahan bakar (detik)

sfc = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/hp.jam)

bhp = Daya efektif poros mesin dalam satuan kilowatt (kW)

2.8.5 Efisiensi termal (η_{th})

Besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif oleh motor pembakaran dalam dinyatakan dalam efisiensi termal (η_{th}). Setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sehingga efisiensi termal yang dihasilkan juga akan berbeda pula. Secara teoritis efisiensi termal bahan bakar dinyatakan dalam persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{Bhp}{\dot{m}_{bb} \times Q} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

\dot{m}_{BB} merupakan laju aliran bahan bakar (kg/s) dan Q nilai kalor bahan bakar. Nilai kalor adalah jumlah energi panas maksimum yang dibebaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar. Nilai kalor bawah (NKB) atau low heat value (LHV) dapat dinyatakan dengan rumus empiris (untuk bahan bakar bensin) sebagai berikut:

$$\text{LHV} = [16280 + 60(\text{API})] \text{ Btu/lb}$$

Dimana : 1 Btu/lb = 2,326 kJ/kg

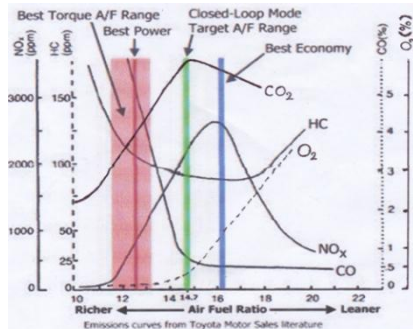
$$1 \text{ kJ/kg} = \left[\frac{1}{4187} \right] \text{ kkal/kg}$$

2.9 Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Bakar Minyak (BBM)

Menurut Swisscontact (2001), gas buang kendaraan bermotor terdiri atas zat yang tidak beracun, seperti: nitrogen (N_2), karbondioksida (CO_2), dan uap air (H_2O) dan zat beracun seperti: karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x), sulfur oksida (SO_x), zat debu timbal (Pb), dan partikulat.

Pada kendaraan bermotor polusi berasal dari empat sumber, yaitu:

- a. Pipa gas buang (knalpot) adalah sumber yang paling utama (65-85 persen) dan mengeluarkan hidrokarbon (HC) yang terbakar maupun tidak terbakar, bermacam-macam nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), dancampuran alkohol, aldehida, keton, penol asam, ester, ether, eoksida, peroksida, dan oksigenat yang lain.
- b. Bak oli adalah sumber kedua (20 persen), dan mengeluarkan hidrokarbon yang terbakar maupun tidak yang dikarenakan blowby.
- c. Tangki bahan bahan bakar adalah faktor yang disebabkan oleh cuaca panas dengan kerugian penguapan hidrokarbon mentah (5 persen).
- d. Karburator adalah faktor lainnya, terutama pengendaraan pada posisi stop-and go (kondisi macet) dengan cuaca panas, dengan kerugian penguapan dan bahan bakar mentah (5-10 persen). (Obert, 1973).



Gambar 2.5 Tipikal kurva ketiga polutan utama yang dihasilkan motor pembakaran dalam (Kawano, 2012).

Pada motor pembakaran dalam karakteristik produk gas buang dari pembakaran di ruang bakar adalah bila karbon monoksida (CO) mengecil, maka oksida nitrogen (NO_x) akan naik tinggi sementara itu hidrokarbon yang terbakar (HC) juga mengalami kenaikan walaupun tidak setinggi NO_x. Pada Gambar 2.14 berikut ini tipikal emisi gas buang yang dikeluarkan pada motor pembakaran dalam.

2.9.1 Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon terjadi dari bahan bakar yang tidak terbakar langsung keluar menjadi gas mentah, dan dari bahan bakar terpecah menjadi reaksi panas berubah menjadi gugusan HC yang keluar bersama gas buang. Sebab-sebab terjadinya hidrokarbon (HC) adalah karena tidak mampu melakukan pembakaran, penyimpanan dan pelepasan bahan bakar dengan lapisan minyak, penyalaan yang tertunda, disekitar dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah dan karena adanya *overlap valve*, sehingga HC dapat keluar saluran pembuangan.

Polutan *unburned hydrocarbon* berasal dari beberapa sumber yang berbeda. Terdapat empat kemungkinan penyebab terbentuknya HC pada engine SI sebagai berikut :

1. HC dalam volume *crevice* adalah volume dengan celah yang sangat sempit sehingga api tidak dapat menjangkaunya yang merupakan sumber utama munculnya HC dalam gas buang. Volume *crevice* yang paling utama adalah volume diantara piston, ring piston, dinding silinder, pusat elektroda busi, dan *crevice* disekitar gasket silinder head.
2. Proses *flame quenching* pada dinding ruang bakar Api akan padam ketika menyentuh dinding ruang bakar karena *heat loss (wall quenching)*, sehingga meninggalkan lapisan tipis yang terdiri dari campuran yang tidak terbakar dan terbakar sebagian.
3. Penyerapan uap bahan bakar kedalam lapisan oli pada dinding ruang bakar Selama proses pengisian dan kompresi, uap bahan bakar diserap oleh oli pada dinding ruang bakar, selanjutnya melepaskannya kembali ke ruang bakar selama ekspansi dan pembuangan.
4. Pembakaran yang tidak sempurna Terjadi ketika kualitas pembakaran jelek baik terbakar sebagian (*partial burning*) atau tidak terbakar sama sekali (*complete misfire*) akibat homogenitas, turbulensi, A/F dan *spark timing* yang tidak memadai. Saat tekanan silinder turun selama langkah ekspansi, temperatur *unburned mixture* didepan muka api menurun, menyebabkan laju pembakaran menurun. Karena temperatur *unburned* didepan muka api yang terlalu rendah maka menyebabkan api padam sehingga nilai HC akan naik.

2.9.2 Karbon Monoksida (CO)

Menurut Robert (2006), Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Dalam tubuh manusia, karbon monoksida menghalangi kemampuan darah untuk menangkap

oksigen, hingga mudah untuk teracuni. Selain itu, menurut Warju (2009), apabila karbon di dalam bahan bakar terbakar habis dengan sempurna, maka terjadi reaksi sebagai berikut:



Namun, apabila unsur oksigen (udara) tidak cukup, maka terjadi proses pembakaran yang tidak sempurna yang menghasilkan CO seperti pada reaksi di bawah ini:

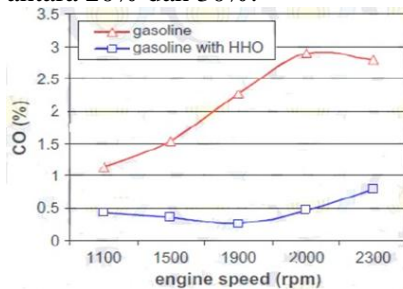


Jumlah gas CO yang dikeluarkan oleh mesin kendaraan diperingati oleh perbandingan antara udara dan bahan bakar yang dihisap oleh mesin ke dalam ruang bakar.

2.10 Penelitian Terdahulu

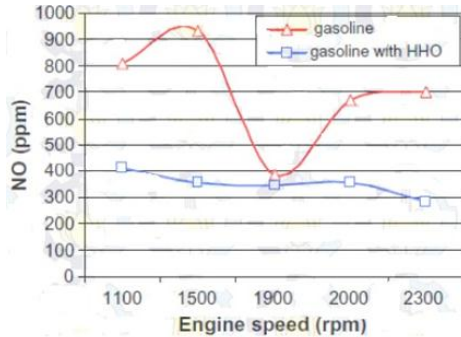
2.10.1 Effect Of HHO Gas on Combustion Emissions in Gasoline Engines

Hasil penelitian Sa'ed A. Musmar dan Ammar A. Al-Rousan (Juni 2011) menunjukkan bahwa campuran HHO, udara, dan bensin menyebabkan penurunan pencemar emis gas buang dan terjadi peningkatan efisiensi mesin. Uji emisi dilakukan dengan memvariasikan kecepatan mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen oksida (NO_x) berkurang sekitar 50% ketika ditambahkan campuran gas HHO, udara, dan bahan bakar yang standar. Selain itu, karbon monoksida berkurang sekitar 20%. Pengurangan konsumsi bahan bakar berkisar antara 20% dan 30%.



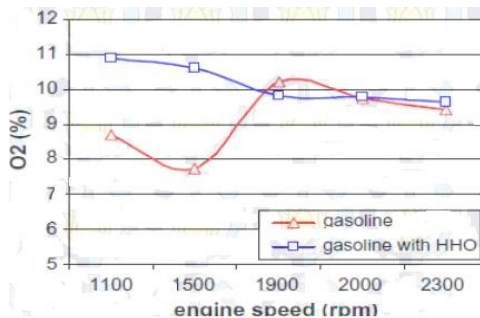
Gambar 2.6 Grafik CO vs Engine Speed (rpm)

Pada Gambar 2.6 Menggunakan campuran gas HHO mengurangi secara signifikan karbon monoksida (CO) karena pembakaran yang efisiensi pada mesin dan juga pengaruhi bahan bakar terhadap udara.

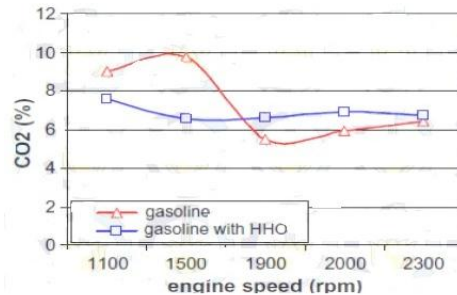


Gambar 2.7 Grafik NO (ppm) vs Engine Speed (rpm)

Gambar 2.7 menunjukkan pengurangan emisi nitrogen oksida karena keberadaan HHO di ruang bakar.



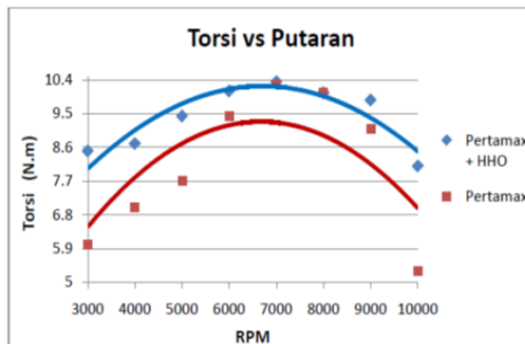
Gambar 2.8 Grafik O2 vs Engine Speed (rpm)



Gambar 2.9 Grafik CO2 vs Engine Speed (rpm)

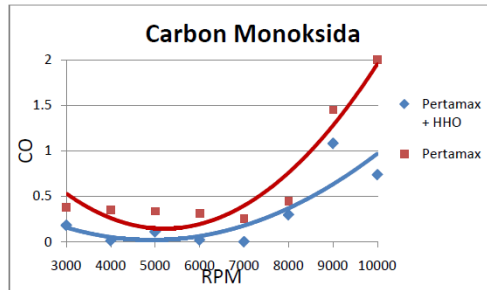
2.10.2 Aplikasi Gas HHO Pada Sepeda Motor 150 Cc

Hasil Penelitian yang dilakukan Nofriandi menunjukkan penambahan bahan bakar gas HHO terjadi peningkatan daya sebesar 50 % pada 3000 rpm, peningkatan torsi sebesar 29,41 % pada 3000 rpm, penurunan Sfc tertinggi sebesar 50,63 % pada 3000 rpm, peningkatan BMEP tertinggi sebesar 41,46 % pada 3000 rpm, peningkatan efisiensi thermal tertinggi sebesar 49,75 % pada 3000 rpm. Menurunkan kadar emisi CO 39,52 % pada 3000 rpm, CO₂ menurun 18,2 % pada 3000 rpm dan peningkatan O₂ 11,01 % pada 3000 rpm. Dapat Dilihat pada gambar grafik torsi dibawah ini :



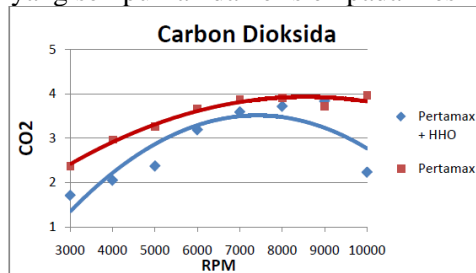
Gambar 2.10 Torsi Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamax + gas HHO Terhadap RPM

Penggunaan pembahan bahan bakar gas HHO pada bahan pertamax murni lebih tinggi dibandingkan torsi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar.



Gambar 2.11 Grafik Emisi CO Menggunakan Bahan Bakar Pertamax + gas HHO Terhadap RPM

Gambar 2.10 menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan pasokan gas HHO kedalam ruang bakar dapat mengurangi kadar reaksi emisi karbon monoksida sebesar 51,97 % dari hasil pembakaran dalam ruang bakar, jika dibandingkan dengan hanya menggunakan bahan bakar pertamax. Hal ini disebabkan karna gas HHO yang terdiri dari hidrogen dan oksigen yang dapat meningkatkan homogenisasi dari campuran udara dan bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran yang sempurna dan efisien pada mesin.

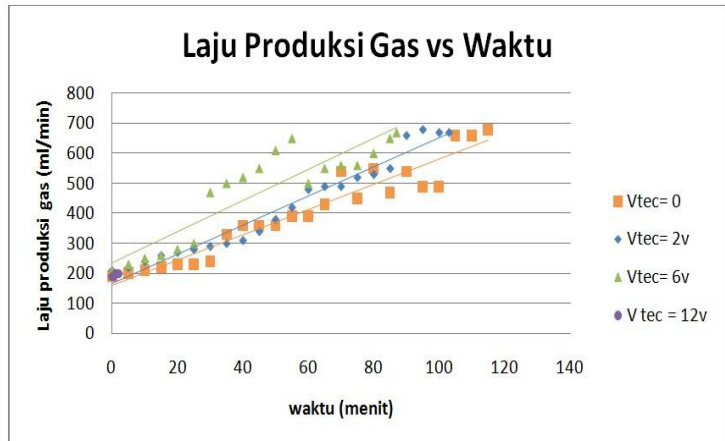


Gambar 2.12 Grafik Emisi CO2 Menggunakan Bahan Bakar Pertamax + gas HHO Terhadap RPM

Pada grafik gambar 2.14 menunjukkan perbandingan kadar emisi CO₂ yang dihasilkan ketika menggunakan bahan bakar pertamax dengan menggunakan bahan bakar pertamax + gas HHO terhadap putaran mesin. Kadar emisi CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan penambahan bahan bakar gas HHO dari putaran 3000 rpm terjadi pengurangan sebesar 27,848 % dan 43,686 % pada putaran 1000 rpm. dengan rata-rata pengurangan pada seluruh putaran sebesar 18,198 %. Ini disebabkan karna adanya penambahan bahan bakar gas HHO yang terdiri dari hidrogen dan oksigen yang dapat meningkatkan homogenisasi dari campuran udara dan bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran yang sempurna dan efisien pada mesin seperti pada kadar emisi CO.

2.10.3 Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Pendingin *thermoelectric* pada Generator HHO Tipe Kering Terhadap Lama Waktu Pengoperasian

Hasil Penelitian yang dilakukan Aditya Pedana Kusuma menunjukkan hasil pengujian yaitu laju produksi gas HHO terhadap fungsi lama waktu operasi generator. Dalam grafik laju produksi gas HHO memiliki data yang berfluktuasi tetapi trennya meningkat selama generator beroperasi. Pada TEC 0 volt selama beroperasi 115 menit laju gas meningkat dari 190 ml/menit hingga 680 ml/menit. Pada TEC 2 volt selama 103 menit generator menghasilkan gas dari 210 ml/menit dan meningkat hingga 680 ml/menit, TEC 6 volt selama beroperasi 87 menit menghasilkan gas dari 210 ml/menit dan meningkat hingga 670 ml/menit. Pada TEC 12 volt memiliki nilai 200 ml/menit hingga 210 ml/menit. Dapat dilihat pada Grafik dibawah ini :

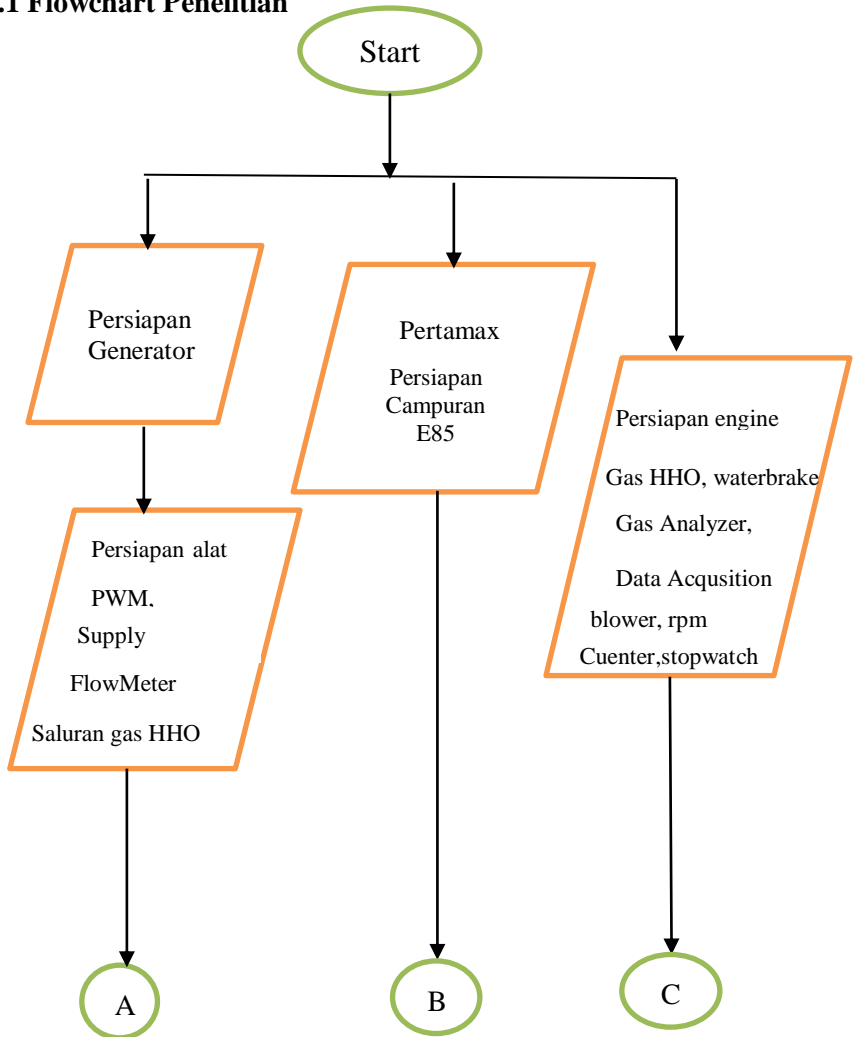


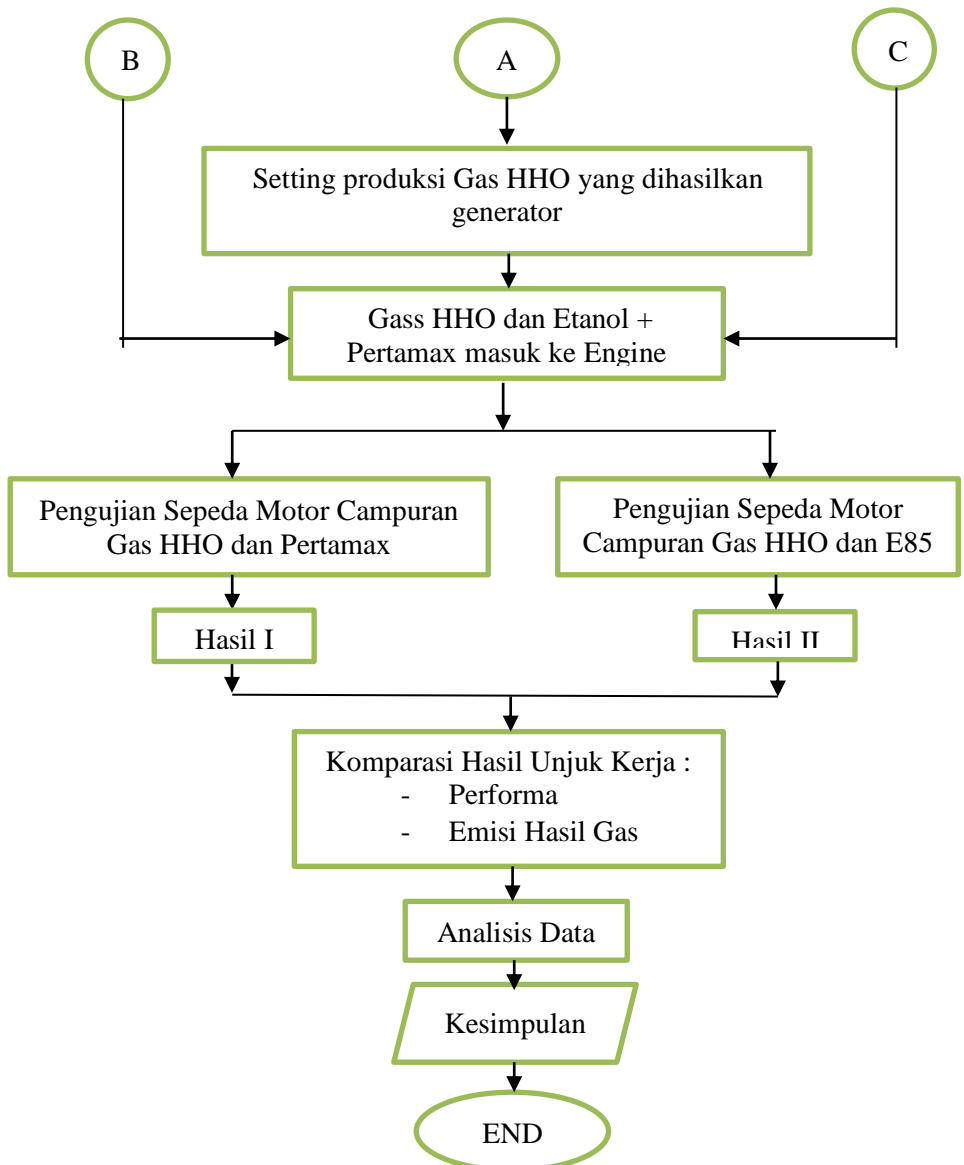
Gambar 2.13 Laju Produksi Gas HHO vs Waktu

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian





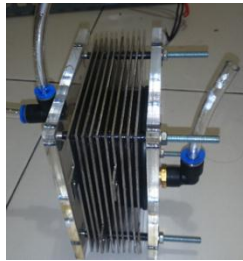
Gambar 3.1 Diagram Alir (Flowchart) Penelitian

3.2 Peralatan yang digunakan

Peralatan-peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah

- Generator Gas HHO

Objek dari penelitian ini adalah generator gas HHO yang tersusun elektroda terdiri dari 10 buah plat, 11 O-ring, dan ditutup dengan akrilik. Plat yang digunakan adalah SS AISI 304 yang tahan karat dan memiliki resistansi yang tinggi. Memiliki dimensi panjang dan lebar sebesar 130mm x 110mm.



Gambar 3.2 Generator Gas HHO

- Flowmeter Gas

Untuk mengetahui laju alir gas HHO yang diproduksi maka diperlukan alat ini.



Gambar 3.3 Flowmeter Gas

- **Power Supply**
Power Supply digunakan sebagai sumber tegangan DC. Power supply ini mengubah tegangan AC 220 volt menjadi DC 120 volt.



Gambar 3.4 Power Supply

- **Watertrap**
Alat ini merupakan tempat penampungan air yang akan dialirkan ke dalam *HHO cell*. Selain itu, *water trap* berfungsi untuk menyaring uap air hasil dari elektrolisis di dalam *cell* dengan menggunakan prinsip kondensasi. Uap air akan mengembun dan menjadi satu dengan air sedangkan gas HHO keluar dari *water trap*
- **PWM**
Digunakan untuk mengatur arus dengan mengubah lebar pulsa tegangan input generator.



Gambar 3.5 PWM (Pulse Width Modulation)

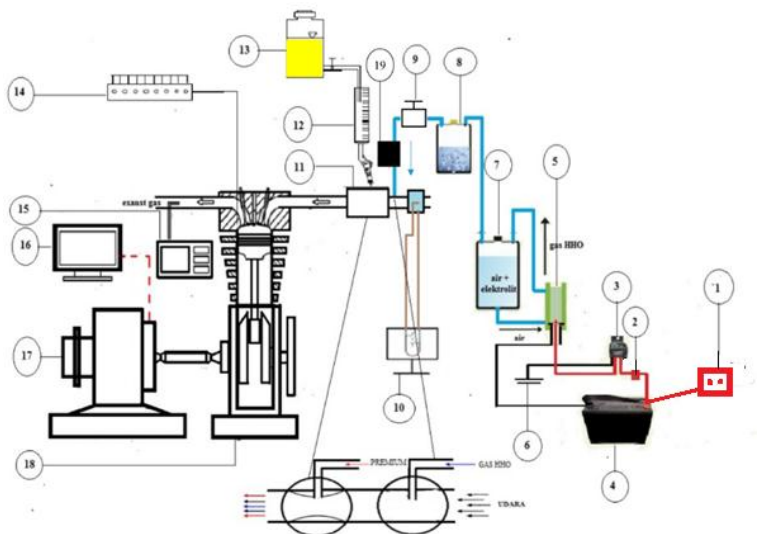
- Mesin motor bensin 4 (empat) langkah 150 cc
- Blower.
- *Waterbrake Dynamometer*



Gambar 3.6. Waterbrake Dynamometer

- Stop Watch
- Tabung ukur waktu konsumsi bahan bakar 25 ML
- Exhaust Gas Analyzer

3.3 Instalasi Pengujian dan Pemasukan Gas HHO Pada Engine



Gambar 3.7 Instalasi pemasukan Gas HHO pada mesin

Keterangan :

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Stop Kontak | 15. Gas Analyzer |
| 2. Kabel Penghubung | 16. Display load Cell (Torsi) |
| 3. PWM (Pulse With Modulation) | 17. Water Brake |
| 4. Power Supply | Dynamometer |
| 5. Generator HHO | 18. Engine Megapro 150cc |
| 6. Ground | 19. Flow Meter |
| 7. Watertrap | |
| 8. Bubler | |
| 9. Katup Valve | |
| 10. Manometer Digital | |
| 11. Karburator | |
| 12. Tabung konsumsi Bahan Bakar 10 ml | |
| 13. Tangki Bahan Bakar | |
| 14. Termocouple | |

3.4 Prosedur Pemasangan Alat Uji Gas HHO

3.4.1 Persiapan Pemasangan Alat Uji Gas HHO

Persiapan pengujian menggunakan penambahan generator gas HHO tipe dry melewati beberapa tahapan, diantaranya :

1. Siapkan peralatan yang dibutuhkan
2. Pasang selang sirkulasi air elektrolisis pada buble
3. Pasang selang gas HHO pada bubler sebelum masuk ke intake manifold sepeda motor yang akan diuji
4. Lakukan perangkaian kabel, hubungkan kabel saklar generator HHO pada power supply.
5. Terminal Positif Power Supply di hubungkan ke terminal positif generator pwm. PWM berfungsi untuk mengatur besar kecilnya tegangan yang masuk ke generator.
6. Hubungkan terminal negatif generator HHO ke masa atau bodi pada sepeda motor.

7. Masukkan air murni yang telah di campur dengan KOH kedalam bubler, dan tutup kembali.
8. Pastikan seluruh saluran gas tidak ada yang bocor
9. Hidupkan mesin sepeda motor dan ON kan saklar generator HHO, gas HHO siap jadi bahan bakar tambahan.

3.4.2 Proses Kerja Penambahan Gas HHO dalam Engine

1. Ketika saklar gas HHO dihidupkan (ON) arus pada baterai sepeda motor mengalir menuju generator HHO yang menyebabkan terjadinya elektrolisis pada air yang berada dalam generator.
2. Gas HHO yang dihasilkan generator akan keluar menuju tabung bubler. Tabung bubler berfungsi sebagai sirkulasi air pada generator dan penampungan awal gas HHO yang dihasilkan generator.
3. Gas HHO dari tabung bubler langsung keluar menuju water trap, water trap mempunyai beberapa fungsi yaitu berfungsi sebagai tangki gas, sebagai pengaman jika terjadi api balik dari ruang bakar ke intake yang sangat membahayakan generator HHO, sebagai pengaman agar air tidak masuk kedalam ruang bakar sehingga air di dalam water trap hanya diberikan sepertiga dari volume tabung.
4. Gas HHO yang telah masuk kedalam water trap melalui selang peng diteruskan ke lubang yang dibuat pada selang karet yang dihubungkan ke intake manipol. Kevakuman pada engine akan memudahkan dan mengoptimalkan mengalirnya gas HHO dari bubler. Ketika vakum engine sangat besar dan di khawatirkan air pada bubler terhisap, maka kurangi air pada bubler atau

ganti dengan bubler yang lebih tinggi sampai air pada bubler tidak terhisap oleh vakum engine.

3.5 Prosedur Pengujian Motor Bensin

3.5.1 Pengujian Emisi Gas Buang

Adapun prosedur pengujian emisi gas buang adalah sebagai berikut:

1. Siapkan kendaraan yang akan diuji emisinya.
2. Lakukan pengecekan pada pipa gas buang (knalpot). Apabila pipa gas buang atau mufler "bocor", maka kendaraan tidak dapat diukur konsentrasi emisi gas buangnya.
3. Pastikan tranmisi dalam keadaan netral.
4. Pastikan choke keadaan dalam tidak bekerja
5. Pastikan kendaraan bekerja pada temperatur kerja
6. Pasang temperatur oli, sensor putaran mesin (rpm) pada kendaraan uji
7. Masukkan sensor gas (gas probe) kedalam pipa gas buang minimal 30 cm untuk menghindari kesalahan data.
8. Tunggu minimal 20 detik sampai data pada layar monitor stabil
9. Tunggu minimal 20 detik sampai data pada layar monitor stabil

3.5.2 Pengujian Performa Mesin

Pengujian dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Memastikan kembali kondisi kesiapan mesin, baik dari kondisi fisik, sistem kelistrikan, sistem pendingin, sistem pemasukan udara dan bahan bakar, sistem pengapian, dan kondisi alat ukur.
2. Memasang instalasi pemasukan gas HHO dan juga sistem kelistrikan pada mesin. Sabungkan pada saluran sebelum karburator
3. Pastikan instalasi dan sistem kelistrikan terpasang dengan benar.

4. Hidupkan generator gas HHO sampai produksi gas stabil, sesuai nilai yang ditentukan dalam pengujian.
5. Menghidupkan mesin Honda Megapro 150 cc pada putaran idle (± 1600 rpm) selama 10 menit untuk mencapai kondisi steady state atau stasioner.
6. Blower dihidupkan.
7. Menjalankan mesin dengan menyertakan penambahan gigi transmisi 1-2-3-4-5, kemudian buka katup kupu-kupu hingga terbuka penuh (full open throttle). Pada kondisi ini putaran mesin sebesar 8000 rpm dan merupakan putaran maksimum dari mesin Honda Megapro 150 cc. Selama putaran maksimum, tidak dilakukan pembebanan pada Waterbrake Dynamometer.
8. Jika putaran mesin sudah stabil maka pencatatan data dapat dilakukan meliputi data putaran poros Waterbrake Dynamometer(rpm), torsi (Lbf.ft), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar premium (sekon), emisi CO (% volume), emisi CO₂ (% volume), emisi HC (ppm volume), lamda (λ), temperatur gas buang (oC), temperatur head (oC), dan temperatur oli (oC).
9. Menambahkan air yang disuplai pompa air untuk melakukan pembebanan pada Waterbrake Dynamometer yang kemudian menurunkan putaran mesin dari 8000 rpm ke 7000 rpm sampai putaran mesin stabil kemudian melakukan pencatatan data seperti keterangan pada nomer 8
10. Pada setiap tahap kenaikan putaran mesin dilakukan pencatatan data seperti pada poin 5 (lima). Dan harus diingat bahwa pencatatan data dilakukan pada saat putaran mesin dalam kondisi stabil.

3.6 Rancangan Eksperiment

Parameter Input		Parameter ouput	
Konstan	Berubah	Diukur	Dihitung
Pertamax Pertamax + Gas HHO E85 + Gas HHO	Putaran Mesin (Rpm) - 2000 - 3000 - 4000 - 5000 - 6000 - 7000 - 8000	Laju Produksi Gas HHO	Torsi
		Waktu Konsumsi Bahan Bakar	Daya
		Torsi	BMEP
		-Emisi gas buang 1. NO 2. CO 3.HC	SFC
		Temperatur engine (°C)	Efisiensi Thermal
		Temperatur Exhaust (°C)	
		Temperatur Oli (°C)	

Dari rancangan penelitian di atas maka akan di dapat :

- Grafik antara putaran mesin dengan torsi
- Grafik antara putaran mesin dengan daya
- Grafik antara putaran mesin dengan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC)
- Grafik antara putaran mesin dengan efisiensi thermal
- Grafik antara putaran mesin dengan AFR teoritis
- Grafik antara putaran mesin dengan emisi CO
- Grafik antara putaran mesin dengan emisi HC

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab 4 ini berisi tentang analisis dan pembahasan terhadap data hasil eksperimen pada *engine* Honda All New Megapro 150 cc dengan menggunakan bahan bakar campuran Pertamina + Gas HHO dan E85 + Gas HHO.

4.1 Perhitungan Gas HHO

4.1.1 Daya yang Dibutuhkan Generator Gas HHO

Data untuk perhitungan daya merupakan data rata-rata untuk pengujian *single HHO* yaitu sebagai berikut:

Voltase : 12 Volt
 Arus listrik : 10.3 Amper
 Flowrate gas HHO : 0.15 Liter/menit

Daya generator HHO dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ &= 12 \text{ Volt} \times 10.3 \text{ Amper} \\ &= 123.6 \text{ Watt} \end{aligned}$$

4.1.2 Laju Produksi Gas HHO

Laju produksi gas HHO dapat dihitung sebagai berikut:

Debit (Q) : 0.15 Liter/menit
 Masa jenis (ρ HHO) : 0.491167 gr/liter
 Temperatur : 30 °C (303 K)

Laju produksi (flowrate) gas HHO dapat dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \dot{m}_{HHO} &= Q \times \rho \\ &= 0.15 \text{ Liter/menit} \times 0.491167 \text{ gr/liter} \\ &= 0.095 \text{ gr/menit} \end{aligned}$$

Jadi laju produksi (*flowrate*) gas HHO adalah 0.074 gr/ menit.

4.2 Perhitungan Unjuk Kerja Motor

Pada penelitian ini, terdapat beberapa parameter output dari pengujian yang diukur dan dihitung. Parameter output yang diukur antara lain torsi (kgf.m), waktu konsumsi 25 ml bahan bakar (sekon), emisi gas buang meliputi CO (% vol), dan HC (ppm vol), CO₂ (% vol), serta temperatur operasional meliputi temperatur *engine* (°C), temperatur oli (°C), dan temperatur gas buang (°C). Sedangkan parameter output yang dihitung antara lain daya/bhp (kW), tekanan efektif rata-rata/bmep (kPa), konsumsi bahan bakar spesifik/sfc (kg/HP.jam), serta efisiensi termal (%). Contoh penghitungan ini diambil pada campuran bahan bakar pertamax (RON 92) dengan gas HHO dengan rpm 5000.

4.2.1 Torsi

Nilai torsi pada pengujian unjuk kerja mesin sepeda motor ditampilkan dalam satuan kgf.m oleh alat ukur torsi *dyno waterbrake*, sehingga dari satuan kgf dikonversi menjadi satuan N.m dengan persamaan berikut :

1. Perhitungan torsi mesin sepeda motor dengan bahan bakar pertamax + Gas HHO

Nilai torsi untuk unjuk kerja mesin sepeda motor dengan bahan pertamax + gas HHO pada rpm 5000 adalah

$$T_{\text{pertamax+ Gas HHO (rpm 5000)}} = 1.13 \text{ kgf.m} \times 9,80665 = 11,08 \text{ N.m}$$

2. Perhitungan torsi mesin sepeda motor dengan bahan bakar E85 + gas HHO

Nilai torsi untuk unjuk kerja mesin sepeda motor dengan bahan pertamax + gas HHO pada rpm 5000 adalah

$$T_{\text{E85+ Gas HHO (RPM 5000)}} = 1.02 \text{ kgf.m} \times 9,80665 = 10 \text{ N.m}$$

4.2.2 Daya

Daya yang dihasilkan mesin sepeda motor berupa daya poros, pada pengujian dengan *dyno water brake* menggunakan putaran

roller water brake dengan menggunakan persamaan 2.14, dihasilkan perhitungan daya efektif pengereman, sebagai berikut,

$$\text{bhp} = \omega \cdot T = 2\pi \cdot n \cdot T \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

bhp : daya (Watt)

T : torsi (Nm)

n : putaran poros *engine* (rps, rev/s)

1. Perhitungan daya mesin sepeda motor dengan bahan bakar pertamax + Gas HHO

Dimana data yang dibutuhkan untuk menghitung daya adalah sebagai berikut:

- Torsi = 11,08 N.m
- Putaran poros engine : 5000 rpm $\left[\frac{1 \text{ m}}{60 \text{ sekon}} \right] = 83,333$ rps
Sehingga besarnya daya untuk putaran *engine* 5000 rpm adalah

$$\text{bhp} = 2 \cdot \pi \cdot 83,333 \text{ rps} \cdot 11,08 \text{ N.m}$$

$$\text{bhp} = 5795,301 \text{ Watt}$$

$$\text{bhp} = 5,795 \text{ kW}$$

2. Perhitungan daya mesin sepeda motor dengan bahan bakar E85 + Gas HHO

Dimana data yang dibutuhkan untuk menghitung daya adalah sebagai berikut :

- Torsi = 10 N.m
- Putaran poros engine : 5000 rpm $\left[\frac{1 \text{ m}}{60 \text{ sekon}} \right] = 83,333$ rps
Sehingga besarnya daya untuk putaran *engine* 5000 rpm adalah

$$\text{bhp} = 2 \cdot \pi \cdot 83,333 \text{ rps} \cdot 10 \text{ N.m}$$

$$\text{bhp} = 5231,124 \text{ Watt}$$

$$bhp = 5,231 \text{ kW}$$

4.2.3 BMEP (Tekanan Efektif Rata-rata)

Proses pembakaran didalam ruang bakar torak silinder terjadi torak mesin antara udara dan bahan bakar dengan pencetus api menghasilkan tekanan dari ledakan bahan bakar yang terbakar. Tekanan tersebut berkerja pada torak sehingga menghasilkan langkah kerja torak hingga memutar roda sepeda motor. Jika menggunakan tekanan konstan pada proses pembakaran di ruang bakar dan menghasilkan kerja yang sama, sehingga disebut dengan tekanan efektif rerata (BMEP). Untuk menghitungnya menggunakan persamaan (2.8) yaitu :

$$bmep = \frac{(bhp \times z)}{(A \times L \times n \times i)} (Pa)$$

Dimana :

- bhp : daya (Watt)
- A : luas penampang piston (m²)
- L : panjang langkah piston (m)
- i : jumlah silinder
- n : putaran engine (rps)
- z : 1 (motor dua langkah) atau 2 (motor empat langkah)

Untuk menghitung besarnya tekanan efektif rata-rata diperlukan beberapa data dari spesifikasi *engine* Honda All New Megapro 150 cc. Data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut.

- Diameter silinder (D) : 0,0573 m
- Panjang langkah (l) : 0,0678 m
- Jumlah Silinder (i) : 1
- Koefisien (z) untuk motor 4 langkah : 2
- Putaran poros engine (n) : 83,333 rps

Maka besarnya luasan penampang piston bisa diperoleh melalui persamaan berikut ini.

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 = \frac{\pi}{4} \times (0,0573 \text{ m})^2 = 2,577 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

1. Perhitungan BMEP sepeda motor dengan menggunakan bahan bakar pertamax + Gas HHO

Pada putaran engine 5000 rpm dan daya 5,795 kW :

$$Bmep = \frac{5,795 \text{ kW} \cdot 2}{2,577 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 0,0678 \text{ m} \cdot 83,333 \text{ rps} \cdot 1} = 796 \text{ kPa}$$

2. Perhitungan BMEP sepeda motor dengan menggunakan bahan bakar E85 + Gas HHO

Pada putaran engine 5000 rpm dan daya 5,231 kW :

$$Bmep = \frac{5,231 \text{ kW} \cdot 2}{2,577 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot 0,0678 \text{ m} \cdot 83,333 \text{ rps} \cdot 1} = 718 \text{ Kpa}$$

4.2.4 Perhitungan SFC (Konsumsi Bahan Bakar Spesifik)

Nilai konsumsi bahan bakar spesifik menampilkan energi yang dihasilkan dari bahan bakar dan energi yang dikonsumsi mesin sepeda motor saat terjadi proses kerja pada pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Contoh perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) dengan persamaan (2.9) dan persamaan (2.10) :

$$sfc = \frac{\dot{m}_{bb}}{bhp}$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{\rho_{bb} \cdot Volume_{bb}}{waktu}$$

Dimana:

\dot{m}_{bb}	: laju aliran massa bahan bakar (kg/s)
m_{bb}	: massa bahan bakar (kg)
ρ_{bb}	: massa jenis bahan bakar (kg/m ³)
Bhp	: daya (Watt)

Dimana untuk menghitung sfc untuk bahan bakar pertamax dan Gas HHO ada 5000 rpm dibutuhkan beberapa parameter hasil pengukuran, antara lain sebagai berikut

- Waktu konsumsi bahan bakar (t) : 53,55 sekon

- Volume bahan bakar (V_{bb}) : $25 \text{ ml} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$
- Massa jenis bahan bakar (ρ_{bb}) : 751 kg/m^3
- Massa jenis bahan bakar HHO (ρ_{bb}) : 0.49 kg/m^3

Besarnya massa 25 ml bahan bakar Pertamina dan Gas HHO adalah

$$m_{bb} = (751 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} + 0.49 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}) \cdot 25 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m_{bb} = 0,0187 \text{ kg}$$

1. Laju aliran massa bahan bakar Pertamina dan Gas HHO yang dikonsumsi pada putaran *engine* 5000 rpm adalah.

$$\dot{m}_{bb} = \frac{m_{bb}}{\text{waktu konsumsi 25 ml bahan bakar}}$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{0,0187 \text{ kg}}{53,55 \text{ sekon}}$$

$$\dot{m}_{bb} = 0.000349 \text{ kg/s}$$

Maka konsumsi bahan bakar spesifiknya (Sfc) adalah

$$\text{SFC} = \frac{0.000349 \times 3600}{5795 \text{ W}} = 2.18 \cdot 10^{-4} \frac{\text{W}}{\text{jam}} = 0,218 \frac{\text{Kg}}{\text{Kw.jam}}$$

2. Laju aliran massa bahan bakar E85 dan Gas HHO yang dikonsumsi pada putaran *engine* 5000 rpm dengan waktu konsumsi bahan bakar (t) : 48,7 sekon adalah

$$\dot{m}_{bb} = \frac{m_{bb}}{\text{waktu konsumsi 25 ml bahan bakar}}$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{0,0187 \text{ kg}}{48,7 \text{ sekon}}$$

$$\dot{m}_{bb} = 0,000383 \text{ kg/s}$$

Maka konsumsi bahan bakar spesifiknya (Sfc) adalah

$$\text{SFC} = \frac{0.000383 \times 3600}{5231 \text{ W}} = 2.64 \cdot 10^{-4} \frac{\text{W}}{\text{jam}} = 0.264 \frac{\text{Kg}}{\text{Kw.jam}}$$

4.2.5 Efisiensi Thermal

Nilai Efisiensi thermal adalah hubungan antara daya yang dihasilkan mesin dengan daya yang dihasilkan dari pelepasan

energi yang tersimpan didalam bahan bakar tersebut saat terjadi proses pembakaran.

$$\eta_{thermal} = \frac{bhp}{Q \cdot \dot{m}_{bb}}$$

Dimana:

sfc : konsumsi bahan bakar spesifik (kg/Watt.s)

\dot{m}_{bb} : laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

Karena nilai SFC sudah diketahui, sedangkan untuk mencari SFC digunakan persamaan :

$$SFC = \frac{\dot{m}_{bb}}{bhp}$$

Sehingga persamaan di atas bisa dirubah menjadi persamaan sebagaimana berikut:

$$\eta_{thermal} = \frac{1}{SFC \cdot Q}$$

Dimana:

SFC : Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.detik)

Q_{HV} : Heating value dari bahan bakar (kJ/kg)

Apabila SFC yang diketahui memiliki satuan kg/kW.jam maka persamaan bisa dirubah menjadi persamaan sebagaimana berikut :

$$\eta_{thermal} = \frac{3600}{SFC \cdot Q}$$

Dimana:

SFC : Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.jam)

Q_{HV} : Heating value dari bahan bakar (kJ/kg)

1. Perhitungan efisiensi thermal (η_t) untuk bahan bakar campuran pertamax dan HHO:
 - Putaran Mesin : 5000 rpm
 - SFC : $0,218 \frac{Kg}{Kw.jam}$

- Heating Value HHO + Pertamax :
 - Heating Value Pertamax : 45950 kJ/kg
 - Heating value HHO : 13325 kJ/kg

Debit bahan bakar rata-rata per putaran dalam 25 ml

- Pertamax : 49,22 detik
- Pertamax + Gas HHO : 53,63 detik
- Persentase penambahan : 8.222%

$$\begin{aligned} \text{HV pertamax + Gas HHO} &= \frac{8,22 \% \times 13325 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{100 \%} \\ &= 1095 \text{ kJ/kg} + 45950 \text{ kJ/kg} \\ &= 47045.31 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Maka effisiensi thermalnya :

$$\eta_{\text{thermal}} = \frac{3600}{0,218 \frac{\text{kW}}{\text{jam}} \cdot 47045.31 \text{ kJ/kg}}$$

$$\eta_t = 0.35$$

$$\eta_t = 35\%$$

2. Perhitungan efisiensi thermal ($\eta_{\eta t}$) untuk bahan bakar E85 dan HHO:

- Putaran Mesin : 5000 rpm
- SFC : $0,265 \frac{\text{Kg}}{\text{Kw.jam}}$
- Heating Value HHO + Pertamax :
 - Heating Value E85 : 29100 kJ/kg
 - Heating Value HHO : 13325 kJ/kg

Debit bahan bakar rata-rata per putaran dalam 25 ml :

- E85 : 44.4 detik
- E85 + Gas HHO : 48.7 detik
- Presentase Penambahan : 8.8 %

$$\begin{aligned} \text{HV E85+ Gas HHO} &= \frac{8,8 \% \times 13325 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{100 \%} \\ &= 1172 \text{ kJ/kg} + 29100 \\ &= 30272 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

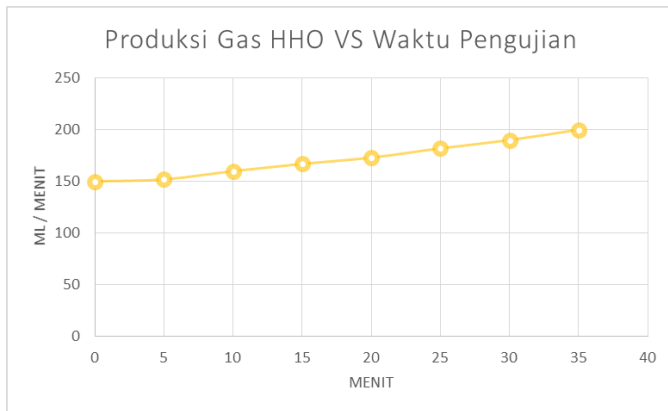
Maka efisiensi thermalnya :

$$\eta_{thermal} = \frac{3600}{0,265 \frac{kW}{jam} \cdot 30272 \text{ kJ/kg}}$$

$$\eta_t = 0.45$$

$$\eta_t = 45\%$$

4.3 Analisa Produksi Gas HHO



Gambar 4.1 Grafik Produksi Gas HHO Terhadap Waktu Pengujian

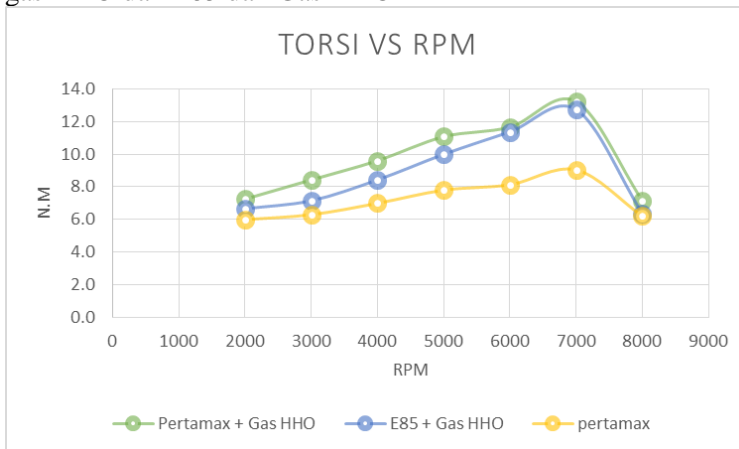
Pada gambar 4.1 menunjukkan produksi gas HHO dari pemecahan molekul air H_2O menjadi gas hidrogen dan gas oksigen. Pada proses terbentuknya gas HHO dikondisikan dibawah titik didih air (H_2O) karena saat temperatur elektrolit diatas temperatur titik didih air, maka energi yang terserap pada elektrolit mengakibatkan regangan ikatan molekul air sehingga densitas air akan menurun, hal tersebut mengakibatkan air yang seharusnya dipecah molekul menjadi gas hidrogen dan gas oksigen, berubah menjadi uap air. Produksi Gas HHO akan semakin meningkat seiring bertambahnya waktu pengujian dari 0 menit sampek 35 menit. Produksi Gas HHO pada waktu 0 menit

menghasilkan 150 ml/menit sedangkan produksi Gas HHO pada waktu 35 menit menghasilkan 200 ml / menit.

4.4 Analisa Unjuk Kerja Motor Bensin dengan Penambahan Gas HHO

4.4.1 Torsi dan Daya

Unjuk kerja mesin otto tidak sama untuk setiap putaran. Untuk itu perlu diketahui karakteristik performa engine untuk masing-masing putaran yang diberikan. Selain itu penambahan generator gas HHO akan membuat karakteristik performa engine menjadi berbeda pada torsi dan daya mesin. Torsi dan daya yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar pertamax, pertamax dan gas HHO dan E85 dan Gas HHO

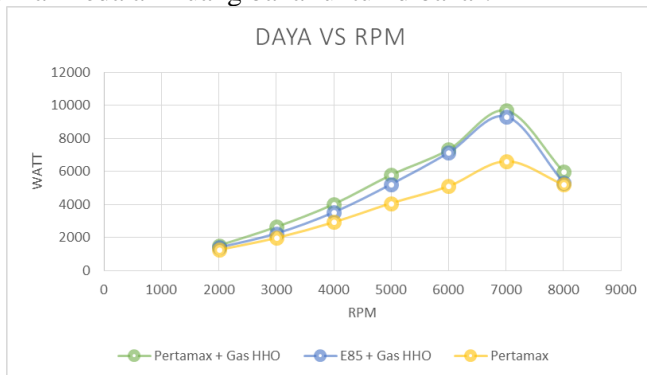


Gambar 4.2 Grafik Torsi Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamax, Pertamax + Gas HHO dan E85 + Gas HHO terhadap RPM

Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa pada putaran mesin rendah (2000 rpm sampai 6000 rpm) torsi yang dihasilkan meningkat ini disebabkan karna adanya penambahan pasokan energi bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar seiring

bertambahnya besar putaran mesin sedangkan kerugian gesekan tidak begitu besar karna putaran mesin yang belum maksimal, namun dengan bertambahnya putaran mesin torsi mencapai titik maksimum (putaram mesin 7000 rpm), kemudian torsi yang dihasilkan berkurang seiring dengan bertambahnya putaran mesin.. Torsi turun disebabkan karena semakin tinggi putaran mesin maka semakin cepat pula saat pembukaan dan penutupan katup buang sehingga saat pemasukan campuran bahan bakar dan udara kedalam silinder semakin singkat yang menyebabkan efisiensi volumetrik menurun yang mengakibatkan tekanan hasil pembakaran menurun sehingga torsi juga mengalami penurunan.

Penggunaan pembahan bahan bakar gas HHO pada bahan pertamax murni torsi yang dihasilkan yaitu mengalami kenaikan sebesar 42 %. Sedangkan bahan bakar bakar E85 + Gas HHO juga mengalami kenaikan torsi dibandingkan dengan bahan bakar pertamax murni yaitu mengalami kenaikan 28 %. Peningkatan ini terjadi karena gas HHO yang dihasilkan oleh generator memiliki nilai kalor yang sangat tinggi sehingga dengan penambahan bahan bakar gas HHO juga menambah jumlah energi yang di masukkah kedalam ruang bakar untuk dibakar.



Gambar 4.3 Grafik Daya Mesin Menggunakan Bahan Bakar Pertamax, Pertamax + Gas HHO dan E85 + Gas HHO terhadap RPM

Pada gambar 4.3 terlihat bahwa daya mesin bertambah seiring dengan bertambahnya putaran mesin, ini dipengaruhi oleh torsi yang di hasilkan pada mesin karena daya yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan torsi, dimana torsi cenderung meningkat dari putaran 2000 rpm sampai 6000 rpm. Daya mesin meksimum (putaran 7000 rpm) dan kemudian berkurang pada putaran mesin yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena kerugian gesekan (friction loss) meningkat dengan bertambahnya putaran mesin dan menjadi faktor dominan pada putaran mesin yang lebih tinggi (Pulkrabek, 1997 hal. 52). Berkurangnya daya mesin pada putaran maksimum juga dipengaruhi oleh berkurangnya pasokan oksigen kedalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran miskin yang berakibat terhadap menurunnya daya mesin dan naiknya nilai kadar emisi gas buang pada carbon monoksida.

Penggunaan bahan bakar bahan pertamax murni pada penelitian ini daya yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan yang dihasilkan dari bahan bakar pertamax ditambah gas hho mapun bahan bakar E85 dan gas HHO. Peningkatan daya yang dihasilkan dari bahan bakas gas HHO dan pertamax yaitu sebesar 46 %. Sedangkan peningkatan daya yang dihasilkan dari bahan bakar gas HHO dan E85 yaitu sebesar 41 %. Beberapa kemungkinan penyebab torsi dan daya yang dihasilkan dari penggunaan campuran gas HHO dan pertamax lebih tinggi dibandingkan menggunakan pertamax murni sebagai bahan bakar pada penelitian ini antara lain:

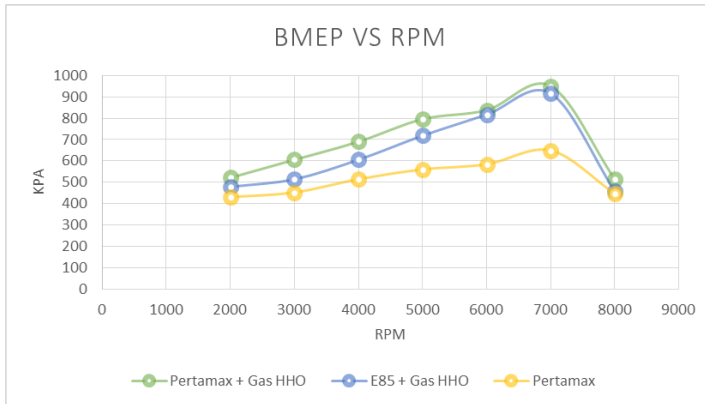
1. Nilai Kalor

Nilai kalor atau heating value adalah jumlah kalor yang dihasilkan dari pembakaran sempurna dari sejumlah tertentu bahan bakar. Hidrogen memiliki heating value yang jauh lebih tinggi dibandingkan pertamax (sekitar 63,3% lebih tinggi). Sebagaimana terlihat pada Tabel 2.2, pertamax memiliki heating value 42,9 MJ/kg sedangkan hidrogen memiliki heating value 119,93 MJ/kg. Sedangkan nilai heating value paling rendah yaitu

bahan bakar E85 sebesar 29,2 MJ/kg. Heating value bahan bakar (QH) berpengaruh terhadap torsi dan daya yang dihasilkan oleh mesin. Untuk mesin dengan spesifikasi yang sama, semakin tinggi heating value dari bahan bakar maka torsi dan daya yang dihasilkan akan semakin tinggi demikian juga sebaliknya. HHO memiliki heating value yang jauh lebih besar dibandingkan pertamax. Apabila ditambahkan ke dalam pertamax, maka campuran HHO+pertamax tersebut akan memiliki heating value yang lebih besar dibandingkan bensin sehingga berimbas pada torsi yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan bahan bakar pertamax murni. Begitu pula dengan E85 ketika campuran E85 + HHO maka heating value dari campuran tersebut menjadi besar dan torsiya akan menjadi besar.

4.4.2 Tekanan Efektif Rata-rata (BMEP)

Terlihat pada gambar 4.4 bahwa grafik memiliki kecenderungan yang sama dengan grafik torsi, dimana memiliki titik puncak pada putaran 7000 rpm. Apabila putaran mesin bertambah lebih lanjut maka nilai bmep yang dihasilkan berkurang seiring dengan bertambahnya putaran mesin. Break mean effective pressure sebenarnya merupakan parameter yang ideal untuk membandingkan satu mesin dengan mesin yang lainnya, karena apabila torsi yang dijadikan acuan untuk perbandingan maka mesin dengan ukuran yang lebih besar akan selalu terlihat lebih baik. Sementara apabila daya yang dijadikan acuan perbandingan maka variabel kecepatan akan sama (Pulkrabek, 1997). Besarnya tekanan yang dialami piston berubah-ubah sepanjang langkah piston tersebut. Bila diambil tekanan yang bernilai konstan yang bekerja pada piston dan menghasilkan kerja yang sama, maka tekanan tersebut merupakan tekanan efektif rata-rata yang dimiliki oleh piston



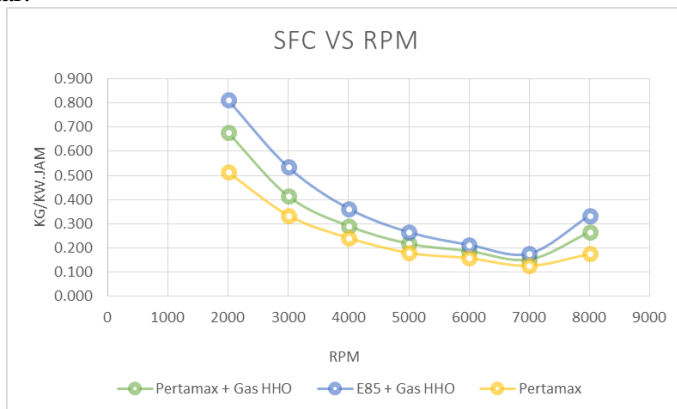
Gambar 4.4 Grafik Nilai BMEP Menggunakan Bahan Bakar Pertamax, Pertamax + Gas HHO dan E85 + Gas HHO terhadap RPM

Dari gambar 4.4 diatas terlihat bahwa besar bmep naik seiring dengan bertambahnya putaran mesin, hal ini disebabkan pemakaian bahan bakar kedalam uang bakar yang semakin besar, sehingga pembakaran yang terjadi semakin besar. Namun pada putaran 7000 rpm bmep mulai turun karna lebih besarnya persentase penambahan putaran mesin dari pada daya yang dihasilkan. Nilai Bmep dengan bahan bakar gas HHO dan pertamax yaitu sebesar 43 % dibandingkan dengan pemakaian bahan bakar pertamax murni tanpa penambahan generator gas HHO. Begitu pula dengan nilai Bmep pada bahan bakar gas HHO dan E85 yaitu sebesar 40 %. Hal ini dikarenakan Flame velocity pada hydrogen jauh lebih besar dari pertamax terlihat pada table 2.4, Flame velocity merupakan kecepatan rambat api yang terjadi saat proses pembakaran. Pertamax flame speed senilai 37 – 43 cm/s dan gas HHO flame speed senilai 165 – 325 cm/s dari kondisi flam evelocity terlihat perbedaan yang signifikan antara

pertamax dan gas HHO dengan melakukan modifikasi pada bahan bakar, dengan cara menambahkan bahan bakar berupa gas HHO berakibat peningkatan nominal flame speed sehingga kecepatan api semakin tinggi, dikarenakan hal tersebut pembakaran lebih cepat sehingga energi yang tersimpan pada bahan bakar terkonversi lebih baik dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar dengan nilai flame speed lebih rendah. Pada kecepatan putaran tinggi terkolerasi dengan peningkatan kecepatan hisap bahan bakar ke dalam ruang bakar, jika tidak diimbangi dengan kecepatan campuran bahan bakar dan pembakaran yang sempurna berakibat tidak terbakar sempurna campuran udara dan bahan bakar dan tidak terkonversi energi secara efektif didalam ruang bakar saat proses pembakaran.

4.4.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik (specific fuel consumption) adalah ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu engine, yang diukur dalam satuan massa bahan bakar per satuan waktu per satuan keluaran daya atau juga dapat didefinisikan sebagai laju aliran bahan bakar yang dipakai oleh mesin untuk menghasilkan tenaga. Specific fuel consumption merupakan representasi keefektifan engine dalam mengkonsumsi bahan bakar.



**Gambar 4.5 Grafik Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Mesin
Menggunakan Bahan Bakar Pertamina, Pertamina + Gas HHO dan
E85 + Gas HHO terhadap RPM**

Pada gambar grafik 4.5 diatas trendline pada grafik cenderung turun kebawah dari 2000 rpm sampai 6000 rpm kemudian terjadi kenaikan pada putaran 7000 rpm. Penyebab fenomena tersebut adalah pada waktu putaran rendah daya yang dikeluarkan juga rendah sehingga terjadi penurunan konsumsi bahan bakar walaupun konsumsi bahan bakar yang digunakan cukup besar karena kenaikan daya tidak sebanding atau lebih besar dengan kenaikan konsumsi bahan bakar. Hal ini yang membuat konsumsi bahan bakar spesifik pada beban rendah cukup tinggi. Sehingga terlihat pada grafik 4.4 diatas setelah trendline menurun akan naik lagi ini disebabkan karena semakin tinggi kecepatan mesin maka konsumsi bahan bakar juga akan semakin meningkat sedangkan kenaikan daya tidak signifikan dan mulai kembali turun seperti pada gambar 4.4. Hal ini juga disebabkan karena pada kecepatan tinggi kerugian gesekan (friction loss) akan lebih besar sehingga konsumsi bahan bakar juga meningkat (Pulkrabek, 1997 hal. 57).

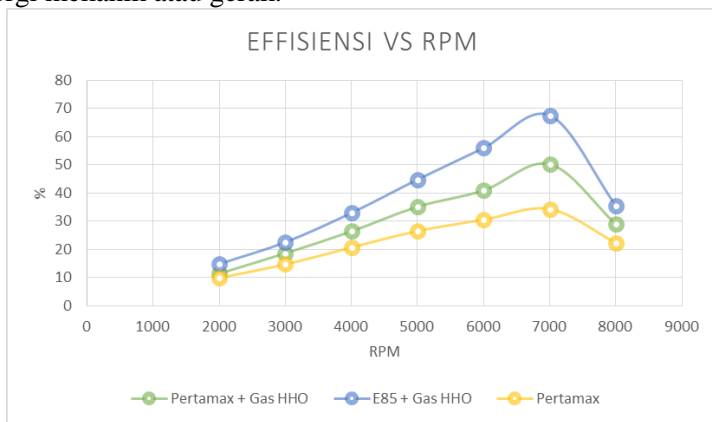
Besarnya nilai sfc pada putaran rendah juga dipengaruhi oleh pasokan udara kedalam ruang bakar, dimana pada putaran rendah pasokan udara yang masuk kedalam ruang bakar lebih sedikit, sehingga pembakaran lebih kaya yang menyebabkan daya pada mesin berkurang. Pembakaran kaya merupakan faktor utama yang menyebabkan nilai sfc pada mesin meningkat.

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa dengan penambahan generator gas HHO trendline konsumsi bahan bakar spesifik menjadi lebih rendah dari pada menggunakan bahan bakar pertamax murni. Penurunan nilai sfc bahan bakar pertamax dengan penambahan gas HHO sebesar 18 % a Sedangkan bahan bakar E85 dengan penambahan gas HHO mengalami penurunan nilai sfc sebesar 24 %. Ini disebabkan adanya penambahan pasokan energi baru dari HHO yang juga mempengaruhi terhadap peningkatan daya pada mesin sehingga mengurangi penggunaan

pada bahan bakar. Namun pada kondisi titik paling rendah pada bahan bakar pertamax murni dengan dipasang generator gas HHO cenderung berhimpitan. Dalam artian tidak ada perbedaan yang cukup signifikan terhadap konsumsi bahan bakar spesifik ini dikarenakan perbandingan daya maksimum yg dihasilkan tidak begitu besar sehingga akan berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar spesifik.

4.4.4 Efisiensi Thermal

Efisiensi thermal (η_{th}) adalah ukuran besarnya pemanfaatan energi panas yang tersimpan dalam bahan bakar untuk diubah menjadi daya efektif pada motor. Efisiensi thermal mengindikasikan besarnya pengubahan energi kalor menjadi energi mekanik atau gerak.



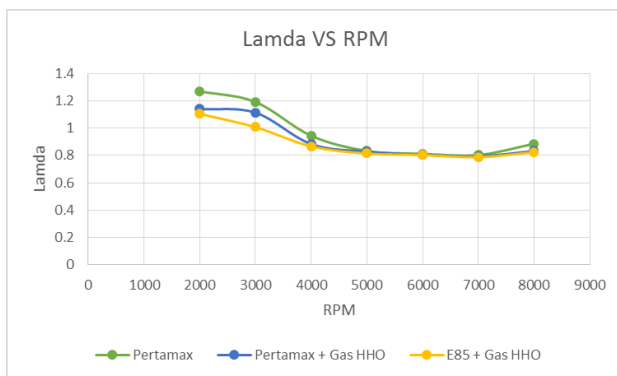
Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Thermal Menggunakan Bahan Bakar Pertamax, Pertamax + Gas HHO dan E85 + Gas HHO terhadap RPM

Pada gambar grafik 4.6 diatas terlihat trendline grafik efisiensi rendah pada putaran 2000 rpm-7000 rpm) seiring meningkatnya putaran mesin maka nilai efisiensi pun meningkat. Pada suatu titik tertentu terjadi titik puncak kemudian turun nilai efesiensinya. Hal ini dikarenakan beban

sudah mencapai titik optimum mesin. Setelah melampaui titik optimum besarnya konsumsi bahan bakar sudah tidak sebanding dengan besarnya daya yang dikeluarkan. Oleh sebab itu nilai efisiensi menurun.

Pada Gambar 4.6 bahan bakar Pertamina murni dengan penambahan gas HHO dapat meningkatkan efisiensi thermal sebesar 46 % dan menurunkan sfc. Sedangkan bahan bakar E85 dengan penambahan Gas HHO peningkatan nilai efisiensi sebesar 68 %. Ini dikarenakan terjadinya konfigurasi diatomik gas HHO (H_2 , O_2) menghasilkan pembakaran efisien karena atom hidrogen dan oksigen berinteraksi langsung tanpa penundaan pengapian. Panas dan tekanan gelombang HHO menghasilkan meremukkan dan fragmen tetesan pertamax, mengekspos bahan bakar untuk oksigen pada reaksi pembakaran. Ini secara efektif memperkaya rasio udara bahan bakar karena lebih banyak bahan bakar yang tersedia. Pada putaran rendah perbandingan nilai efisiensi thermal terlihat sangat signifikan karena perbandingan daya sangat besar yaitu dengan adanya penambahan gas HHO pada ruang bakar akan meningkatkan kualitas pembakaran sehingga daya yang diberikan menjadi besar.

4.4.5 Lamda



Gambar 4.7 Grafik lamda Terhadap RPM

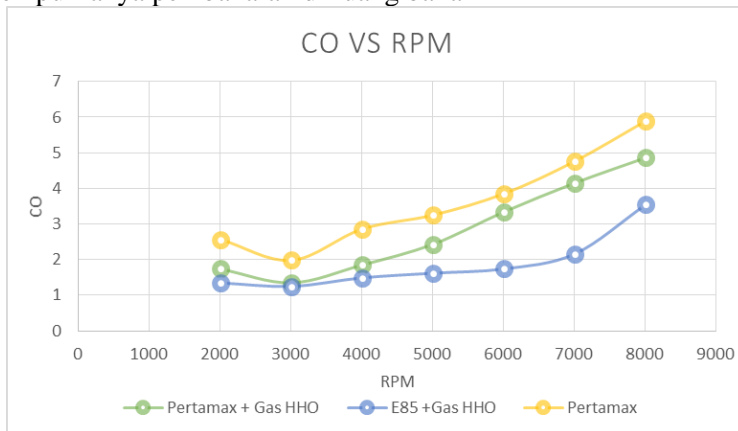
Pada proses pembakaran dibutuhkan perbandingan 1 : 14,7 , 1 kg bahan bakar : 14,7 udara. Perbandingan tersebut disebut stoikiometri, pada bahan bakar hidrogen memiliki nilai perbandingan 1 : 34,3. Faktor udara eksese (excess air factor) λ mengidikasikan campuran antara bahan bakar dan udara. Jika $\lambda = 1$ maka campuran tersebut stoikiometri, untuk $\lambda < 1$ maka terjadi campuran kaya, terlalu banyak bahan bakar dibanding udara. Dan jika $\lambda > 1$ maka terjadi campuran miskin, dengan dominasi terbanyak pada udara. Trend line yang dihasilkan dari data penelitian tentang lamda bahan bakar pertamax lebih kecil nilai λ dibanding kan bahan bakar pertamax dengan penambahan gas HHO dan trend line yang dihasilkan dari data penelitian tentang lamda bahan bakar pertamax murni lebih kecil nilai λ dibanding kan bahan bakar E85 dengan penambahan gas HHO. Kondisi mesin dengan penambahan bahan bakar gas HHO dimungkinkan menjadi campuran kaya (rich fuel mixture), sehingga nilai $\lambda < 1$, karena dalam kandungan gas HHO memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibanding nilai kalor pertamax. Nilai kalor pertamax senilai 43,9 MJ/kg dan nila kalor E85 senilai 29.1 MJ/g sedangkan nilai kalor gas HHO senilai 119,93 MJ/kg. Energi yang tersimpan pada gas HHO dengan berat yang sama lebih tinggi dibanding bahan bakar pertamax. Pada putaran 2000 rpm sampai 3000 rpm nilai $\lambda > 1$ terjadi campuran miskin karena udara yang masuk lebih sedikt. Sedangkan untuk putaran 6000 sampai 8000 nilai $\lambda < 1$ terjadi campuran kaya karena udara yang masuk lebih banyak. Pada Putaran 4000 rpm nilai lamda hamper mendekati stokiometri

Jadi pergeseran pick pulser (dimajukan) sebesar 0.5mm, maka setiap kenaikan interval 12°,16° dan 20°pickup yang diperlu digeser sebesar 0.5mm.

4.5 Analisa Gas Buang Motor Bensin dengan Penambahan Gas HHO

4.5.1 Analisa Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida merupakan salah satu gas buang hasil pembakaran yang berbahaya bagi kesehatan dan juga berdampak buruk pada lingkungan. Emisi gas CO pada gas buang kendaraan bermotor disebabkan salah satunya karena kurang sempurnanya pembakaran di ruang bakar



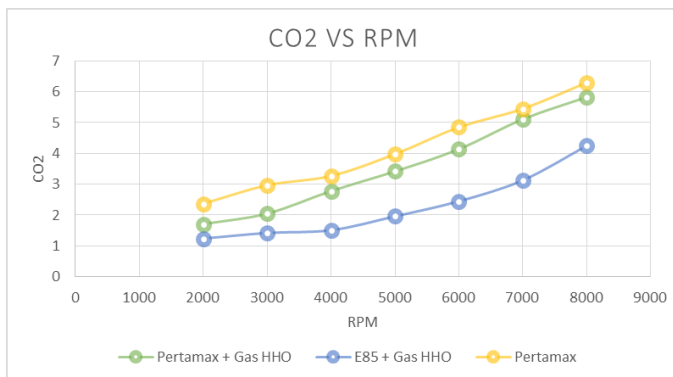
Gambar 4.8 Grafik CO Menggunakan Bahan Bakar Pertamax, Pertamax + Gas HHO dan E85 + Gas HHO terhadap RPM terhadap RPM

Dari gambar 4.8 diatas terlihat trandline pada grafik carbon monoksida bahwa pada putaran rendah (2000 rpm) kadar CO yang dihasilkan dari reaksi pembakaran terlihat tinggi dan terjadi penurunan sampai putaran 3000 rpm. Hal ini disebabkan karena pada putaran 2000 rpm bahan bakar kekurangan oksigen (O_2) yang berasal dari udara berikatan melalui reaksi kimia didalam ruang bakar dan berubah menjadi karbon dioksida

(CO₂). Hal ini disebabkan adanya peningkatan atau penambahan kadar oksigen yang berasal dari udara yang masuk kedalam ruang bakar sehingga oksigen tersebut cukup untuk memenuhi reaksi kimia dengan karbon yang berasal dari bahan bakar dan kemudian membentuk (CO₂). Kemudian pada putaran 4000 rpm sampai 8000 rpm terjadi kembali peningkatan kadar CO yang sangat signifikan ini disebabkan karna pasokan udara kedalam ruang bakar kembali mengalami penurunan yang sangat signifikan.

Pada grafik gambar 4.8 menunjukan bahwa dengan adanya penambahan bahan bakar gas HHO dan pertamax kedalam ruang bakar dapat mengurangi kadar reaksi emisi karbon monoksida sebesar 32,30 % dari hasil pembakaran dalam ruang bakar, sedangkan dengan bahan bakar E85 dan gas HHO dapat mengurangi kadar emisi karbon monoksida sebesar 54 % jika dibandingkan dengan hanya menggunakan bahan bakar pertamax murni. Hal ini disebabkan karna gas HHO yang terdiri dari hidrogen dan oksigen yang dapat meningkatkan homogenisasi dari campuran udara dan bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran yang sempurna dan efisien pada mesin.

4.5.2 Analisa Emisi Gas Buang Karbon Dioksida (CO₂)

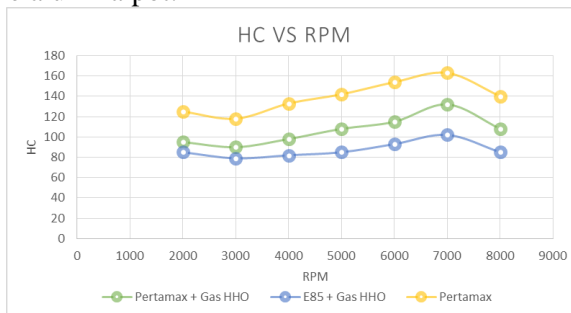


Gambar 4.9 Grafik CO₂ Menggunakan Bahan Bakar Pertamax, Pertamax + Gas HHO dan E85 + Gas HHO terhadap RPM

Pada grafik gambar 4.8 menunjukkan perbandingan kadar emisi CO₂ yang dihasilkan ketika menggunakan bahan bakar pertamax dan bahan bakar pertamax + gas HHO terhadap putaran mesin. Kadar emisi CO₂ yang dihasilkan dari bahan bakar pertamax penggunaan penambahan bahan bakar gas HHO dari putaran 2000 rpm terjadi pengurangan 32,94 % dan Kadar Emisi CO₂ pada bahan bakar E85 dengan penambahan bahan bakar gas HHO terjadi pengurangan 51,37 %. Ini disebabkan karna adanya penambahan bahan bakar gas HHO yang terdiri dari hidrogen dan oksigen yang dapat meningkatkan homogenisasi dari campuran udara dan bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar.

4.5.3 Analisa Emisi Gas Buang HC (Hidrokarbon)

Emisi HC adalah sejumlah bahan bakar yang tidak ikut terbakar selama proses pembakaran berlangsung. Secara umum kadar emisi HC akan menurun seiring meningkatnya putaran *engine*. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya homogenitas campuran udara dan bahan bakar seiring dengan pertambahan putaran *engine*. Pada putaran yang lebih tinggi, waktu pembakaran akan semakin cepat sehingga kadar bahan bakar yang belum terbakar dan mengandung emisi HC yang keluar melalui knalpot.



Gambar 4.10 Grafik HC Menggunakan Bahan Bakar Pertamax, Pertamax + Gas HHO dan E85 + Gas HHO terhadap RPM

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari serangkaian pengujian, perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian penambahan bahan bakar gas HHO dengan campuran ethanol 85 % dan pertamax 15 % atau E85 mengalami peningkatan dibandingkan dengan pertamax murni. Torsi yang dihasilkan bahan bakar gas HHO dengan campuran E85 mengalami peningkatan sebesar 28 %. Daya yang dihasilkan bahan bakar gas HHO dengan campuran E85 mengalami peningkatan sebesar 44 %. Nilai BMEP yang dihasilkan bahan bakar gas HHO dengan campuran E85 mengalami peningkatan sebesar 40 %. SFC yang dihasilkan bahan bakar gas HHO dengan campuran E85 mengalami peningkatan sebesar 24 %. Effisiensi thermal maksimum yang dihasilkan bahan bakar gas HHO dengan campuran E85 mengalami peningkatan sebesar yaitu 68 %.
2. Penambahan bahan bakar gas HHO pada campuran E85 terjadi penurunan kadar emisi gas buang kedalam ruang bakar. Untuk bahan bakar campuran E85 dan Gas HHO kadar emisi gas buang CO menurun sebesar 47 %, dan HC sebesar 19 %. Sedangkan untuk bahan bakar pertamax murni kadar emisi gas buang CO menurun sebesar 54,81 %, dan HC sebesar 44 %.

5.2 Saran

Dari serangkaian pengujian, perhitungan dan analisis data yang telah dilakukan, saran untuk perlu dikaji sebagai berikut :

1. Bahan bakar HHO memiliki nilai oktan yang sangat tinggi sebesar 130, sehingga untuk menghasilkan

peforma mesin yang lebih optimal diperlukan kompresi rasio yang lebih tinggi pada mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ammar dan Al-Rousan “*Reduction of fuel consumption by in gasoline engines introducing HHO gas into intake manifold*” fuel, Vol. 35, hal 12930-12935.
- [2] Arismunandar, Wiranto, (2005), *Penggerak Mula: Motor Bakar Torak*, Penerbit ITB, Bandung.
- [3] Based on JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, (1971) ; *Selected Value Note 270-3*, 1968 ; and *API Research Project 44*, Carnegie Press, 1953. Heating values calculated.
- [4] Dirjend Migas, (2006), *Standard dan Mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin yang Dipasarkan Dalam Negeri*, Keputusan Direktur jendral Minyak dan Gas Bumi, Jakarta.
- [5] Cobb, H.M. (1999). *Steel Product Manual: Stainless Steel*. Warrendale P.A: Iron & Steel Society.
- [6] Guntur, H.L., Rasiawan, Sampurno B, Sutantra I.N.(2011), “*Pengembangan Sistem Suplai Brown Gas Model 6 Ruang Tersusun pada Mesin Mobil 1300cc dengan Sistem Karburator*”, Jurnal Teknik Mesin, Vol.13,No.1,hal.13-17.
- [7] Gaikwad, K.S. (2004), “*Development of a Solid Electrolyte for Hydrogen Production*. Thesis. Master of Science in Electrical EngineeringDepartment of Electrical Engineering College of Engineering University of South Florida.
- [8] Heisler, Heinz, (1995), “*Advanced Engine Tecnology*”, Edward Arnold, London.
- [9] Hidayatullah, P & Mustari, (2008) *Rahasia Bahan Bakar Air*. Ufuk Press. Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies: Rev 0, December 2001 Jama, Jalius &

Wagino, (2008), *Teknik Sepeda Motor*”, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Depertemen Pendidikan Nasional, Jakarta.

- [10] Kawano, Sungkono D, (2011), *Motor Bakar Torak (bensin)*, ITS Press, Surabaya. Komisi Eropa Tim Kerja Kendaraan Berbahan Bakar Gas, (2000), *Panduan*.
- [11] Pulkrabek, Willard W (1997), *Internal Combustion Engine*, Prentice Hall, New Jersey].

BIODATA

PENULIS



Penulis lahir di Surabaya, 15 Mei 1996. Penulis telah menempuh pendidikan dasar di SDN Ketabang 3 Surabaya, kemudian untuk pendidikan menengah pertama di SMPN 12 Surabaya dan di jenjang menengah atas di SMA IPIEMS Surabaya. Sejak kecil, penulis suka dengan hal-hal terkait perkembangan teknologi yang berhubungan dengan mesin. Hal tersebut juga yang mendasari penulis melanjutkan pendidikan Diploma 3 di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Kemudian penulis melanjutkan lagi pendidikan jenjang sarjana (S1) , di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya penulis aktif berorganisasi menjadi staff Kementerian Dalam Negeri BEM ITS 2012/2013, dan Menjadi Asisten Direktorat Jendral Kementerian Dalam Negeri BEM ITS 2013/2014

Penulis dalam menyelesaikan pendidikan S1 mengambil rumpun mata kuliah konversi energy serta memiliki ketertarikan di bidang Pembakaran dan Sistem Energi, penulis dapat dihubungi melalui surel: bachrunashar.23@gmail.com